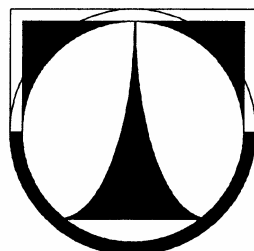


**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA STROJNÍ**

Katedra stroj vozidel a motor



**PEVNOSTNÍ VÝPOČET PODKOPOVÝCH LŽIC  
A JEJICH INOVACE**

**THE STRENGTH CALCULATION OF THE BACKHOE BUCKETS  
AND THEIR INOVATION**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

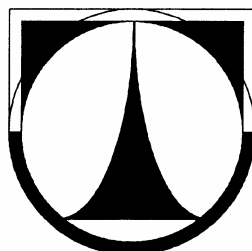
Michal Petr

Květen 2008

# **TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motor



Obor: 2302T010

Konstrukce strojů a zařízení

Zaměření:

Kolové dopravní a manipulační stroje

## **PEVNOSTNÍ VÝPOČET PODKOPOVÝCH LŽIC A JEJICH INOVACE**

## **THE STRENGTH CALCULATION OF THE BACKHOE BUCKETS AND THEIR INOVATION**

Diplomová práce

KSD – DP – 572

Michal Petr

Vedoucí diplomové práce: Prof. Ing. Jan Honc , CSc.

Konzultant diplomové práce: Miroslav Doubek

Počet stran : 67

Počet obrázků : 112

Počet příloh : 6

Počet výkresů : 5

Květen 2008

Diplomová práce KSD - DP - 572

## Pevnostní výpočet podkopových lžic a jejich inovace

### ABSTRAKT:

Práce si klade za hlavní cíl vytvořit výpočtovou dokumentaci aady podkopových lžic typu „L“ využitím metody konečných prvků a navrhnout inovace řešení na kterých stávajících podkopových lžic typu „L“ pro pracovní proces v těžších podmínkách. Pro výpočtové řešení je důležité stanovit síly, které působí na lžici a pro výpočtový model zvolit rovněž vhodné okrajové podmínky. Lžice se vyrábí pro zemní stroje ve firmě Triga – MF, spol. s r. o..

## The strength calculation of the backhoe buckets and their innovations

### ABSTRACT:

The main aim of this work is to make calculations and documentations for several backhoe buckets type „L“ with the help of finite element method and propound an inovated solution for the existing backhoe buckets type „L“ in the working proces in a hard conditions. It is important for the solution to define the force which effects on the bucket during the working proces, and it is important for the calculating model to select the suitable boundary conditions. Buckets are made for ground machines in company Triga – MF s.r.o..

Desetinné číslo: 621.879 - Rýpadla, bagry  
Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motor  
Dokoněno: 2008  
Archivní označení zprávy:

Počet stran: 67  
Počet obrázků: 112  
Počet příloh: 6  
Počet výkresů: 5

Klíčová slova:

Podkopová lžíce

Vysokopevnostní a otěruvzdorné materiály

Pevnostní výpočet

Rypná síla

Vylamovací síla

Metoda konečných prvků (MKP)

Key words:

Backhoe bucket

High strength and abrasion resistant materials

Strength calculation

Dipperstick breakout force

Bucket breakout force

Finite Element Method (FEM)



## **Prohlášení k využívání výsledk diplomové práce**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon  
. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých  
autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si na vědomí  
povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode  
mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich  
skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na  
základ konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci dne, 23. května 2008

.....  
Michal Petr  
Na Jezírku 626/22  
460 06 Liberec

Na tomto místě je mou milou povinností s úctou poděkovat  
panu Prof. Ing. Janu Honcovi, CSc. za vedení diplomové práce a panu Miroslavu  
Doubkovi a jeho spolupracovníkům za rady a podklady ke zpracování diplomové  
práce. Chci také poděkovat ještě rodičům, kteří mi během studia podporovali a  
byli mi oporou.

## Seznam symbol a jednotek

$G$	... jmenovitá provozní hmotnost lopatového rýpadla	$[t]$
$P$	... výkon hnacích motor lopatového rýpadla	$[kW]$
$n_j$	... jmenovité otá ky lopatového rýpadla	$[\text{min}^{-1}]$
$\rho_p$	... objemová hmotnost hornin	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
$H_1, H_2, H_3$	... hydromotory pracovního za ízení	$[-]$
$F_1, F_2, F_3$	... síly vyvozené hydromotory pracovního za ízení	$[N]$
$A_1, A_2$	... inné plochy pístu hydromotoru	$[\text{mm}^2]$
$A_p$	... plocha pístnice hydromotoru	$[\text{mm}^2]$
$p_{max}$	... maximální tlak kapaliny v hydromotoru	$[MPa]$
$M_k$	... klopný moment	$[N.m]$
$V_j$	... jmenovitý objem lžice	$[\text{m}^3]$
$R_m$	... mez pevnosti materiálu	$[MPa]$
$R_e$	... mez kluzu materiálu	$[MPa]$
$\psi$	... pom rná odolnost proti abrazivnímu opot ebení	$[-]$
$F_R$	... rypná síla	$[N]$
$F_V$	... vylamovací síla	$[N]$
$a, b, c, d$	... délkové rozm ry	$[\text{mm}]$
$k_k$	... sou initel odporu rypání	$[\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}]$
$R$	... polom r oto ného kloubu násady ke hrot m zub	$[\text{mm}]$
$r$	... polom r oto ného kloubu lžice ke hrot m zub	$[\text{mm}]$
$\alpha$	... svírající úhel mezi hydromotorem a násadou	$[\circ]$
$A_{RV}$	... rypná plocha zubu	$[\text{mm}^2]$
$A_{ZV}$	... vylamovací plocha zubu	$[\text{mm}^2]$
$p_R$	... rypný tlak	$[MPa]$
$p_V$	... vylamovací tlak	$[MPa]$
$E$	... modul pružnosti v tahu a tlaku	$[MPa]$
$\mu$	... Poissonovo íslo	$[-]$
$X, Y, Z$	... pravoúhlé sou adnice, tvo ící sou adný systém	
$UX, UY, UZ$	... posunutí ve sm ru X,Y,Z sou adného systému	$[-]$
$k$	... bezpečnost k mezi kluzu	$[-]$
$\sigma_{red}$	... redukované nap tí	$[MPa]$
$HMH$	... Huber – Mises - Hencky	
$MKP$	... metoda kone ných prvk	

Obsah	strana
1 Úvod	9
2 Obecná problematika zemních prací podkopovými lžicemi	10
2.1 Kinematika podkopových lžic typu „L“	12
3 Podkopové lžice	13
3.1 Základní rozdělení podkopových lžic	14
3.1.1 Podkopové lžice typu „HL“	15
3.1.2 Podkopové lžice typu „RL“	15
3.1.3 Podkopové lžice typu „A“	16
3.1.4 Podkopové lžice typu „DL“	16
3.1.5 Speciální podkopové lžice	16
4 Podkopové lžice typu „L“	17
4.1 Rozbor podkopových lžic typu „L“	17
4.2 Parametry podkopových lžic typu „L“	19
4.2.1 Požadavky na konstrukci podkopových lžic typu „L“	19
4.2.2 Konstrukce podkopových lžic typu „L“	20
4.2.2.1 Popis konstrukčních částí stávajících typů lžic	21
4.2.3 Materiály tvořící podkopové lžice typu „L“	23
5 Navržené konstrukční úpravy – inovace	24
5.1 Popis navržených inovací	26
5.1.1 Bok lžice	26
5.1.2 Krajiní výztuha	26
5.1.3 Vysokopevnostní a otvrdzovací materiály	27
6 Pevnostní výpočet podkopové lžice	28
6.1 Hloubkové síly	28
6.1.1 Rypná síla	29
6.1.2 Vylamovací síla	30
6.1.3 Velikosti hloubkových sil	32
7 Sestavení výpočtového modelu	33
7.1 Výběr efektivní metody pevnostního výpočtu	33
7.2 Volba výpočtového systému	33
7.3 Model podkopové lžice typu „L“	34
7.4 Konečný prvkový model	35
7.4.1 Typy použitých prvků	36
7.4.2 Vlastní tvorba konečného prvkového modelu	36
7.4.3 Materiálové vlastnosti modelu	38
7.5 Okrajové podmínky modelu	39
7.5.1 Silové podmínky	39
7.5.2 Geometrické okrajové podmínky	41
8 Výsledky pevnostního výpočtu	44
8.1 Testovací testy	44
8.1.1 Citlivostní analýza	44
8.2 Zobrazení výsledků pevnostních analýz	48
9 Závěr	64
Seznam literatury	66

# 1 ÚVOD

Zavádění nových zemních strojů do pracovního procesu je nutné docílit především dobré produktivity práce, tj. vyšší výkonnosti a tím i rychlosti provádění zemních prací, a i zajištění velké životnosti a spolehlivosti stroje. Pro výrobce zemních strojů to přináší zvyšování kladených požadavků. Proto je v současné době při konstrukci nebo hodnocení zemního stroje nutné sledovat celou řadu parametrů, tedy nejen výkonnost, spolehlivost a stavbu celého stroje, a i snížení vlastních i provozních nákladů, ale je kladen důraz i na jednotlivé součásti tvořící zemní stroj. Požadavky se zvlášť kladou na součásti zařízení, které výrobci zemních strojů neprodukují sami. Náročné požadavky jsou proto kladeny na výrobce předávných pracovních zařízení zemního stroje, mezi něž náležejí výrobci podkopových lžic. Mezi ně patří zadavatel diplomové práce, tedy firma Triga –MF, spol. s r. o. [1] snažící se své pracovní nástroje navrhovat tak, aby co nejlépe splňovaly požadavky na spolehlivost zemního stroje, tedy měli vysoký výkon a dlouhou životnost.

Zemní stroje dokáží vyvolat velké rozpojovací síly, proto je důležité konstruovat lžice s odpovídající pevností, tuhostí a otvrdzdností. Pevností se rozumí schopnost podkopové lžice odolávat všem existujícím zatížením, a zvlášť silám, které na lžici působí při rozpojování zeminy. Tuhost lžice je charakterizována odporem proti deformacím, které na lžici vznikají během pracovního procesu. Podmínky, kde lžice mají vykonávat pracovní proces nejsou vždy ideální, a proto je důležité stanovit nebo posoudit přípustné mezní opotřebení. Protože překročí-li se hranice mezního opotřebení, pak lžice nemůže plnit předpokládané výkonové nebo kvalitativní ukazatele nebo dokonce není schopna práce vůbec a je tedy nutná její údržba nebo oprava. To je velmi nepříjemné pro pracovní proces, protože tím dochází k nucené odstávce celého zemního stroje. Vezme-li se v úvahu, že v současné době nejsou zkušební zařízení pro zjišťování mezních napětí vznikajících v konstrukci lžice při pracovním procesu, a výrobci lžic jsou odkázáni jen na poznatky stavu lžice ze skutečného provozu, je vhodným aparátem pro získání potřebných pevnostních výpočetů metodou konečných prvků umožňující získávat poznatky napětí a deformace virtuálních modelů podkopových lžic.

## 2 OBECNÁ PROBLEMATIKA ZEMNÍCH PRACÍ PODKOPOVÝMI LŽÍCEMI

Přiblížením obecné problematiky zemních prací podkopovými lžícemi se v patřené míře vysvětlí faktory, které jsou důležité pro konstrukční řešení lžice, a proto jsou důležité i pro samotný pevnostní výpočet podkopových lžic.

Podkopové lžice (kap.3) jsou základním pracovním nástrojem „dolování a nakládání“ horniny resp. součástí pracovního zařízení zemních strojů pro zemní práce, které se nazývají dle normy SN ISO 10262 hydraulická lopatová rýpadla.



Obr.1 Hydraulické lopatové rýpadlo  
při normálních provozních podmínkách.  
[zdroj: Caterpillar, ([www.Cat.com](http://www.Cat.com))]

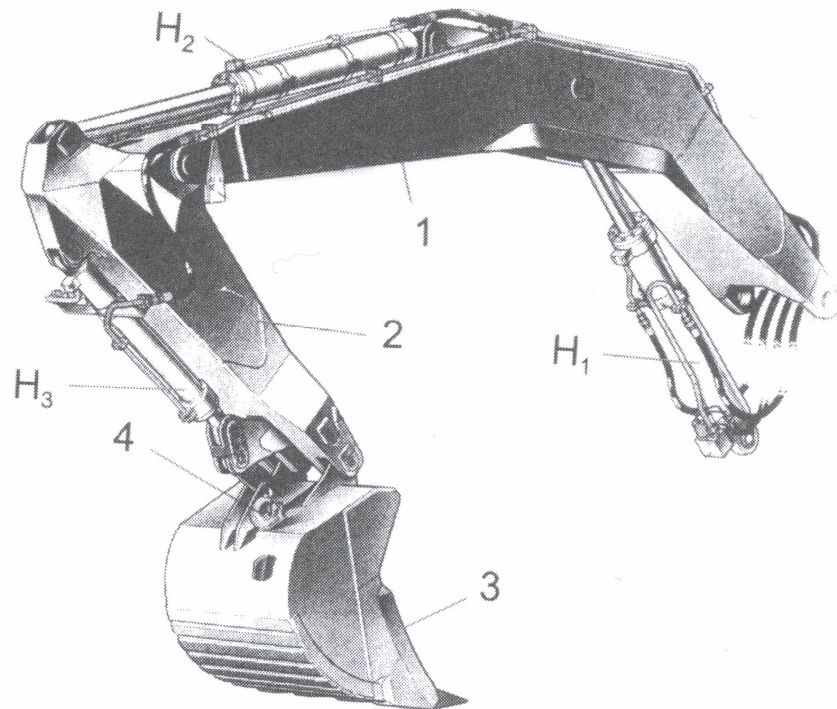


Obr.2 Hydraulické lopatové rýpadlo  
při práci v těžších podmínkách.  
[zdroj: Komatsu, ([www.Komatsueurope.com](http://www.Komatsueurope.com))]

Hydraulická lopatová rýpadla nebo jen *Lopatová rýpadla* se rozdělují podle celé řady různých hledisek například na jednoúhlová, univerzální, teleskopická, tunelová, samojízdná atd. Velmi zjednodušeně se dá říci, že jsou to v podstatě stavebnicové konstrukce. Základem stroje je horní otočná nástavba, kterou je možno montovat na různé typy podvozku, které obvykle bývají kolové nebo pásové. Pro některé pracovní oblasti, například svahy u potoků, se ale používají i krátké podvozky. Horní otočná nástavba tvoří svařovaný rám, na kterém jsou upevněny mechanismy rýpadla, tj. hnací motor s příslušenstvím, rýpadlo, olejové nádrže, filtry a chladiče a hnací ústrojí otočné. Na horní otočné nástavbě je ještě kabina řidiče, která je umístěna zpravidla vlevo. Na pravou část je kloubovým spojem připojena sestava pracovního zařízení, na níž je postavena kinematika pracovního záběru (kap. 2.1) a celý pracovní proces.

Pracovní zařízení s příslušným hydraulickým zařízením tvoří pohybové kinematické mechanismy pro ovládání pracovního nástroje. Skládá se z výložníku, který je nosnou částí pracovního zařízení, násady jako spojovacího článku mezi výložníkem a pracovním nástrojem. Dále pracovní zařízení tvoří vratný (spojovací) mechanismus připojený k násadě a k pracovnímu nástroji. V našem případě jde o podkopové lžice. Sestava pracovního zařízení s podkopovou lžicí je na obr. 3.

Pro návrh konstrukce podkopových lžic je důležité dbát požadavků na stabilitu zemního stroje při práci podle normy ISO 10567. Proto je z technických parametrů lopatových rýpadel třeba znát: *druh pracovního zařízení, jmenovitou provozní hmotnost rýpadla včetně všech provozních hmot  $G$  [t] a výkon hnacích motorů  $P$  [kW] při jmenovitých otáčkách  $n_j$  [1/min].*

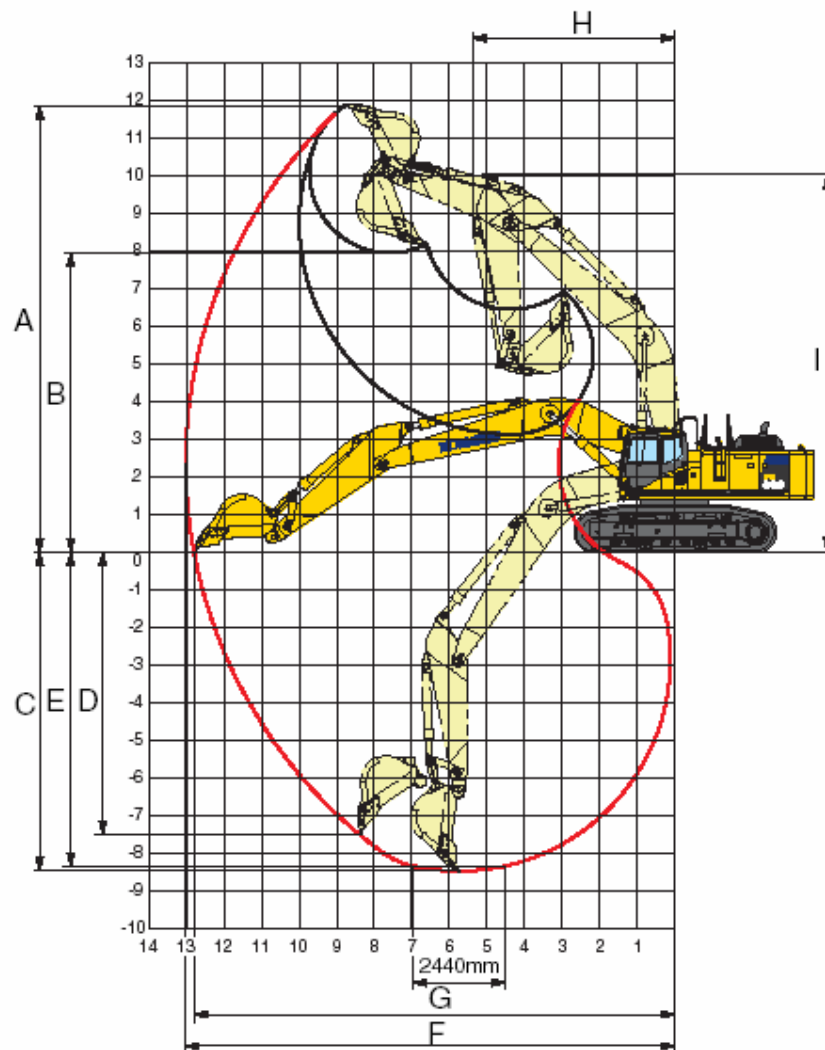


Obr.3 Náčrtek sestavy pracovního zařízení hydraulických lopatových rýpadel

- 1 Jednodílný výložník
- 2 Násada
- 3 Podkopová lžice
- 4 Upínací zařízení s vratným mechanismem
- H1 Hydromotor pro ovládání výložníku
- H2 Hydromotor pro ovládání násady
- H3 Hydromotor pro ovládání lžice

## 2.1 Kinematika pracovního zařízení

P sobením hydraulického zařízení na výložníku, násad a lžíci koná lžíce pohyb po zábrové dráze (obr. 4), kde je velikost zábrové dráhy omezena k ivkami maximálního dosahu zub lžíce. Zábrové dráhy lze p estavním výložníku nebo násad m nit podle technologických požadavk provozu. Vhodn zvolené k ivky dosah mají zna ný vliv na ekonomiku práce, proto je třeba tyto možnosti pln využít. Všeobecn platí, že pro vyvolání maximálních rozpojovacích sil (hloubicí síly – kap. 6.1) je zábrová k ivka krátká a pro nakládání již rozpojitelné zeminy je nejv tší.



Obr.4 Zábrové dráhy a k ivky dosah pracovního zařízení p i práci lopatového rýpadla  
[zdroj: Komatsu, model PC 600-8 ([www.Komatsueurope.com](http://www.Komatsueurope.com))]

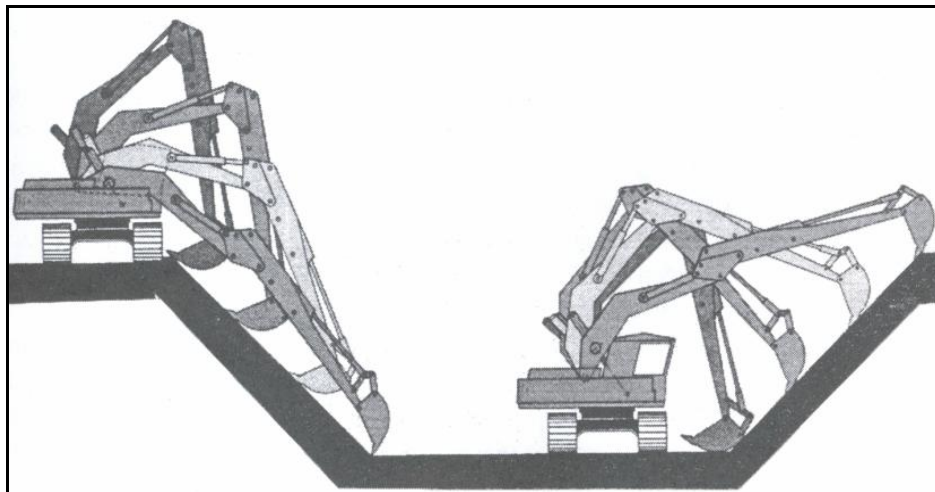


### 3 PODKOPOVÉ LŽÍCE

Tyto lžíce pro svůj široký rozsah použití v různých technologických a klimatických podmínkách, včetně rychlého připojení prostřednictvím rychloupínače nebo epového upínání k vratnému mechanismu a nasazení pracovního zařízení, patří mezi nejrozšířenější a nejpoužívanější pracovní nástroje zemních strojů resp. lopatových rýpadel.

Pracovní činnost podkopové lžíce – zábrusuje „shora dol“, proto název podkopová nebo spodová lžíce, patří do třídy hloubkových lopat.

Typická práce podkopové lžíce je v těšinou pod opornou plochou terénu, na kterém lopatové rýpadlo pracuje. Hydraulické zařízení ovládající pracovní zařízení na stroji umožňuje podkopové lžici pracovat pod i nad povrchem terénu obr. 5. To je výhodou oproti jiným lžicím, které nepatří do třídy hloubkových lopat (např. nakládací lžíce, lisovací nebo profilové lžíce, ...).



Obr.5 Pracovní proces rýpání podkopových lžic hydraulických lopatových rýpadel

Podkopové lžíce všech druhů a velikostí jsou více či méně vhodné pro pevnostně vyztužené. Na exponovaných místech bývají opatřeny materiály odolávajícími abrazivnímu (otrovému) opotřebení pro pracovní proces v normálních nebo těžších technologických podmínkách. Základním materiálem podkopové lžíce bývá ocelový plech o mezní pevnosti  $R_m$  minimálně 610 MPa s velmi dobrou svařitelností.

### 3.1 Základní rozdělení podkopových lžic

Obecně se podkopové lžice rozdělují do tříd podle pracovní oblasti a pracovních podmínek, které vymezuje norma SN 73 3050 Zemní práce. Tab.1, která mimo jiné definuje třídy podkladu resp. podloží hornin i zemin doporučuje vhodný typ podkopové lžice. Ty se rozdělují také podle navržené konstrukce, tvaru a jejich širokého pracovního použití, kde mají vykonávat potrubnou práci (např. pole, lesy, staveniště, silnice, lomy, svahy, základové jámy ale i úzké rýhy, ...). Záleží též na tom jakou práci mají vykonávat (např. rýpání, nakládání, pokládání inženýrských sítí, třídění materiálu, ...), protože s tím souvisí jejich funkčnost, životnost a také provozní spolehlivost.

Proto jsou podkopové lžice s označením „L“, „HL“, „RL“, „A“, „DL“, a „speciální“.

- „L“ Standardní hloubková lžice
- „HL“ Skalní hloubková lžice
- „RL“ let zová hloubková lžice
- „A“ Hloubková lžice s vytvářákem
- „DL“ Drenážní hloubková lžice

Tab.1 Vhodné typy podkopových lžic pro dané horniny

Třída hornin	Popis hornin	Orientační objemová hmotnost v rostlém stavu $\rho_p$ (kg/m <sup>3</sup> )	Vhodné typy lžic
1-2	<b>soudržné zeminy</b> (např. ornice, písčité hlína, písek)	1610	„A“
3	<b>horniny soudržné středně rozpouštělné</b> (např. mokrá hlína, spraš, písčité jíly, jíly)	1770	„DL“
4	<b>horniny soudržné těžko rozpouštělné</b> (např. navrátné jílovce, slínovce, zvrátné pískovce)	1830	„RL“
5	<b>horniny lehce rozpouštělné trháčemi pracemi</b> (např. jílovité bledlice, andezit, pískovec)	1950	„L“
6	<b>horniny těžko rozpouštělné trháčemi pracemi</b> (např. žula, rula, ediny)	2250	„HL“
7	<b>horniny velmi obtížně rozpouštělné trháčemi pracemi</b> (např. křemenná žula, křemence, skalní masivy)	2570	„HL“, rozrývací trny nebo odstělovací skalního masivu pomocí trhavin

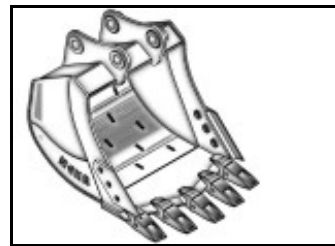
Diplomová práce je zaměřena na rozbor a výpočet podkopové lžíce typu „L“, proto se o ostatních podkopových lžících zmíním jen velmi krátce, kvůli uvedení hlavních rozdílů ve tvarech konstrukce a použitelnosti.

### 3.1.1 Podkopové lžíce typu „HL“

Podkopové lžíce typu „HL“ se též nazývají skalní lžíce. Vyznačují se velkou pevností, protože jejich konstrukce je dimenzována pro práci s kamenivem a silně abrazivním materiálem tedy například pro těžbu tvrdé nebo odstelené skály. Jsou vhodné pro lopatová rýpadla pracující v lomech nebo v důlním prostředí, které mají jmenovité provozní hmotnosti od 8 do 80 t.



Obr.6a Lžíce typu „HL“



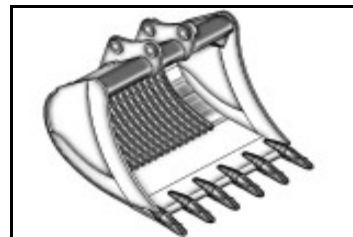
Obr.6b Náčrtes Lžíce typu „HL“

### 3.1.2 Podkopové lžíce typu „RL“

Podkopové lžíce typu „RL“ se nazývají retrové lžíce. Jsou určeny k těžbě a nakládce soudržných hornin, protože se mokré jílovité zeminy velmi špatně vysypávají ze standardních lžic. U retrových lžic samotná hmotnost retzu a skutečnost, že vlivem pohyblivých článků retzu může proudit vzduch, zaručuje snadný výsyp jakéhokoli materiálu. Součástí retrových lopat může být výplň, kterou je možné přišroubovat pod retz tvořící dno lopaty, čímž vznikne podkopová lžíce s pevným dnem. Lžíce typu „RL“ je vhodná pro lopatová rýpadla, které mají jmenovité provozní hmotnosti od 1,1 do 50 t.



Obr.7a Lžíce typu „RL“



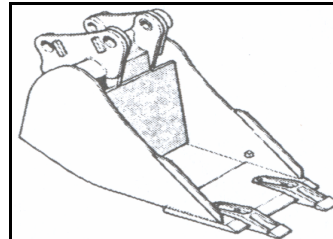
Obr.7b Náčrtes Lžíce typu „RL“

### 3.1.3 Podkopové lžíce typu „A“

Podkopové lžíce typu „A“ se nazývají lžíce s mechanickým vyt rákem. Používají se výhradn ě pro nakládání mazlavého materiálu a svou konstrukcí p ěispívají k úplnému vyprázdn ění lžíce. Jsou vhodné pro lopatová rýpadla, které mají jmenovité provozní hmotnosti od 5,5 do 15 t.



Obr.8a Lžíce typu „A“



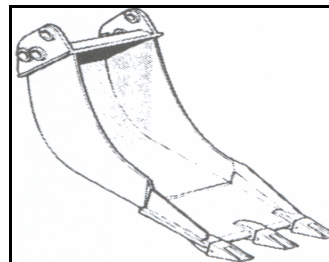
Obr.8b Náskres Lžíce typu „A“

### 3.1.4 Podkopové lžíce typu „DL“

Podkopové lžíce typu „DL“ se nazývají drenážní lžíce. Jsou ur ěny k provád ění výkop ě pro pokládání kabel ě, vodovodních a drenážních trubek inženýrských sítí. Tvar bo ěnic zaru ěuje snadný výsyp ě přepravovaného materiálu i p ěes to, že lopata je velmi úzká. Jsou vhodné pro lopatová rýpadla, které mají jmenovité provozní hmotnosti od 1,1 do 40 t.



Obr.9a Lžíce typu „DL“



Obr.9b Náskres Lžíce typu „DL“

### 3.1.5 Speciální podkopové lžíce

Do speciálních podkopových lžic pat ěí lžíce, které nejsou tak b ěžné v pracovním procesu. Jedná se hlavn ě o velkoobjemové lžíce, které jsou charakteristické pro velké d ělní a tunelové výkopy, kde lopatová rýpadla mají jmenovité provozní hmotnosti od 100 do 1000 t. Dále jsem pat ěí roštové, které se používají k t ěíd ění materiálu (kameniva, št ěrku, zeminy, atd.) a jiné lžíce.

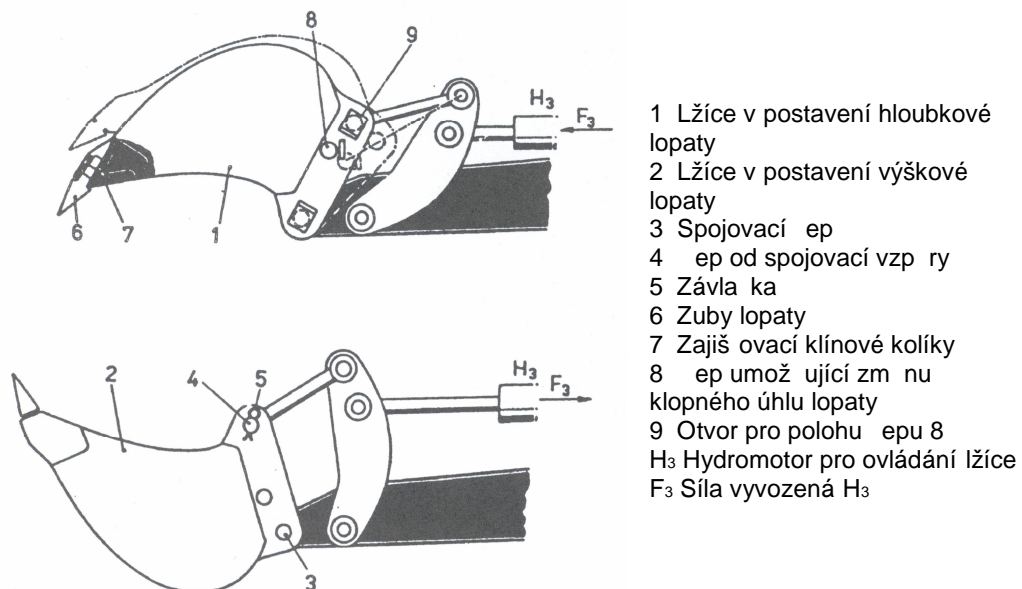
## 4 PODKOPOVÉ LŽÍCE TYPU „L“

### 4.1 Rozbor podkopových lžic typu „L“

Podkopové lžice typu „L“, případně „PL“, se obecně nazývají standardní nebo univerzální lžice. V České republice k nejvýznamnějším výrobcům těchto lžic patří firmy *Triga-MF, s.r.o., Nehr, s.r.o., Wimmer international cz, s.r.o., Empec.*

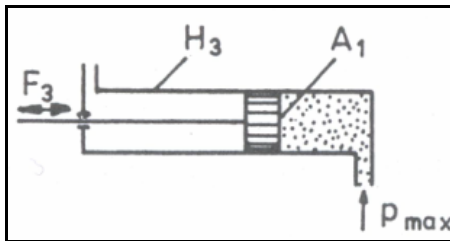
Jedná se o nepoužívanější podkopové lžice pro lopatová rýpadla a patří do třídy hloubkových lopat. Používá se jich při výkopových a stavebních procesech. Slouží jako pracovní nástroj pro rýpání, bagrování a nakládání udusaných pídk, pískovců, vápenců, pídk bohatých na minerály a jiných méně abrazivních materiálů například. Dlouhá životnost je dána díky odpovídajícím materiálům (kap. 4.2.3), které tvoří jednotlivé části lžice a dokonalému svazení jednotlivých částí v provozuschopný celek.

Univerzálnost se projevuje tím, že umožňuje montáž na stejnou násadu rýpadla nejen pro různost hloubkové lopaty, ale i možné použití jako výškové lopaty (obr.10).

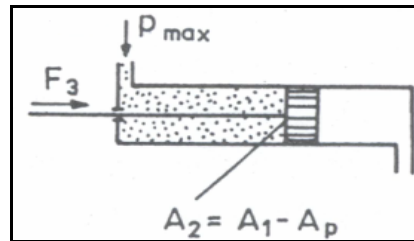


Obr.10 Náčrtek zapojení podkopové lžice typu „L“ k pracovnímu zařízení

Silov výhodnější je nastavení jako hloubková lžíce obr. 11a, kde přímo arý hydromotor  $H_3$  vyvine sílu  $F_3 = p_{max} \cdot A_1$  (1). Síla  $F_3$  se přenáší v maximální hodnotě přes vratný mechanismus na lopatu, na níž vytváří klopný moment  $M_k$ . Na její velikosti jsou závislé velikosti hloubících sil. Při zapojení lžíce na výškovou innost obr.11b je inná plocha pístu  $A_1$  zmenšena o plochu pístnice  $A_p$ . Proto potom hydromotorem vyvolaná síla je  $F_3 = p_{max} \cdot (A_1 - A_p)$  (2).



Obr.11a Síla hydromotoru  
při zapojení hloubkové lžíce



Obr.11b Síla hydromotoru  
při zapojení výškové lžíce

Kde:

$F_3$  [N].....síla vyvozená hydromotorem  $H_3$ ,  
 $A_1$  [mm<sup>2</sup>].....plocha pístu,  
 $A_2$  [mm<sup>2</sup>].....plocha pístu zmenšená o plochu pístnice,  
 $A_p$  [mm<sup>2</sup>].....plocha pístnice,  
 $p_{max}$  [MPa].....maximální tlak kapaliny působící na píst,  
 $M_k$  [N.m].....klopný moment.

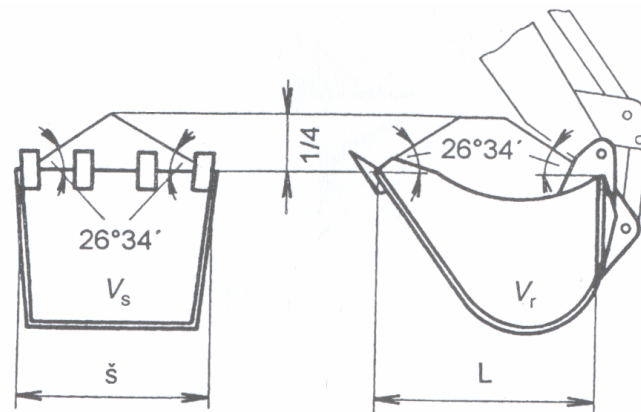
Pozn.: Při určení síly  $F_3$  neuvažují ztráty ve vedení. Síla  $F_3$  by byla ve srovnání s maximálními hodnotami, které uvádí výrobci zemních strojů tyto ztráty menší.

Podle výrobce lopatových rýpadel (Caterpillar, Komatsu, Volvo, Case, Liebherr atd.) je maximální síla  $F_3$  v postavení výškové lopaty o 35% i více menší než maximální síla  $F_3$  v postavení hloubkové lopaty. Lžíce typu „L“, se proto pro zemní stroje více využívají v zapojení hloubkové lopaty.

## 4.2 Parametry podkopových lžic typu „L“

### 4.2.1 Požadavky na konstrukci podkopových lžic typu „L“

Požadavky na konstrukci podkopové lžice typu „L“ pro zemní stroje a uspořádání resp. svazení jednotlivých částí, ze kterých je podkopová lžice navržena a zkonstruována jsou vysoké. Protože se zde sluší problémy statické s problémy kinematickými celého pracovního zařízení. Obtížnost konstrukčního řešení spoívá v tom, že každý len pracovního zařízení, tj. výložník, násada i lžice, koná svůj vlastní pohyb odvozený od vlastního hydraulického válce a tyto válce spojují jednotlivé leny mezi sebou jak je zřejmé z obr. 3. Při práci na kterého válce vzniká na zubech lžice reakce namáhající válce ostatní. Tak jsou pevnostní namáhány jednotlivé leny. Dále každý len svou hmotností a hmotností pracovního materiálu způsobuje namáhání len ostatních. Proto musí být lžice konstruovány v souladu s normou SN ISO 7451 (nebo SN 277 536) Jmenovitý objem lopat hydraulického lopatového rýpadla a rýpadlo-nakladače.



Obr.12 Jmenovitý (navršený) objem lopaty dle normy ISO 7451

Tato norma vymezuje konstruktérům jednotlivé dovolené objemy podkopové lžice, z toho plynoucí délky a šířky lžic a samozřejmě s tím související celkové hmotnosti lžice, pro jednotlivé třídy tonáže zemních strojů. Lžice se proto rozdělují do tříd, které si výrobci lžic sami určí (zpravidla dle konstrukce nejnižší a nejvyšší třídy lžic podle tonáže zemních strojů). Třídy mají označení např. 0-12 (kde je 0 nejmenší a 12 největší lžice). Každá lžice má zpravidla 2 i více šířkových variant. Základní parametry lopatových rýpadel pro konstrukci lžice jsou v tab.2.



Tab.2 Základní parametry lopatových rypadel pro návrh podkopové lžíce typu „L“

	Mini rypadla			Malá rypadla				St ední rypadla			T žká rypadla		
T ída rypadla	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Jmenovitá provozní hmotnost G [t]	do 0,9	1,8	2,9	4,1	5,5	8,5	12	16	20	25	31	42	55
Doporu en výkon hnacích motor P [kW]	až 10	20	25	30	40	50	70	100	120	150	190	230	250
Orienta ní jmenovitý objem lžíce V <sub>j</sub> [m <sup>3</sup> ]	0,05	0,08	0,12	0,15	0,28	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,5	2,1	2,6

#### 4.2.2 Konstrukce podkopových lžic typu „L“

Samotné konstruk ní ešení musí dbát požadavk na konstrukci jak je to popsáno v kap. 4.2.1. Zárove se snaží o jednoduché navržení díl tvo ící lžíci a pat i n rychlou montáž resp. technologické sva ení jednotlivých ástí v celek, protože se jedná o d ležitý faktor mající vliv na pracovní proces, ale i výrobní pracnost, ás a cenu lžíce. Tvar se u výrobc podkopových lžic typu „L“ od sebe výrazn neliší, dáno to je mnoholetou tradicí, a proto se výrobci lžic od sebe v tšinou rozlišují jen designem lžíce, tvarovými odlišnostmi a ur itým vylepšením slabých míst, hlavn v oblastech upínacího za ízení.



Obr.13a lžíce typu „L“

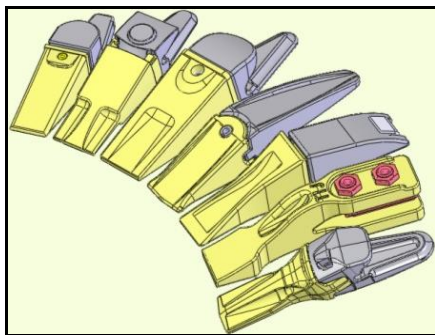


Obr.13b lžíce typu „L“ pro st ední rypadla  
vyráb ící firmou Triga – MF s.r.o.

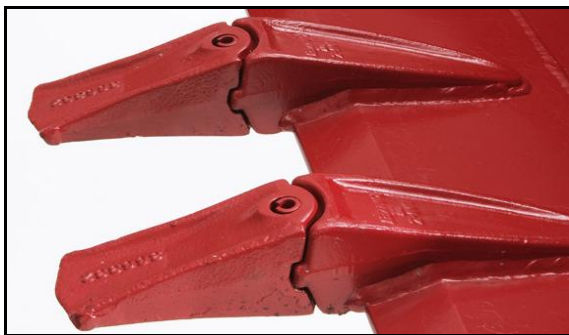


#### 4.2.2.1 Popis konstrukčních částí stávajících třídlíží

Celá konstrukce je symetricky postavena z přední a zadní hrany nebo-li břítu, na kterém jsou zpravidla umístěny zuby (Pozn. Lžíce jsou konstruovány i bez zubů, tyto lžíce se nazývají *hladké podkopové lžíce*). Velikost opotřebení zubů je dána provozními podmínkami. S rostoucím opotřebením se poloměr křivky plochy zvětšuje a narůstá tloušťka špičky zubu. Zvětšování poloměru křivky plochy (rypná plocha podle kap. 6.1.1) způsobuje nárůst rýpacího odporu a s tím související větší zatížení konstrukce lžíce. V současné době si výrobci lžic nechávají dodávat zuby od subdodavatelů (např. Esco ([www.Escoeurope.com](http://www.Escoeurope.com)), Esti ([www.Esti.it](http://www.Esti.it)), Cat([www.Cat.com](http://www.Cat.com))), kde konstrukční řešení zubů nabývá různých tvarů a modifikací. Na obr. 14 je provedení různých variant zubů, skládajících se ze dvou částí, a to adaptéru a korunky, které jsou spojeny kolíkem nebo šroubem.



Obr.14 Zuby pro podkopové lžíce



Obr.15 Adaptér zubu připevňující se k břitu spojený kolíkem s korunkou zubu

Břito je součástí se zadní částí, která se nazývá vana. Vana je specifická navrhnutým tvarem ohnutého plechu, který definuje maximální objem pracovního materiálu. Vana může být u vyšších třídlíží vhodně vyztužena ze spodu navařenými horizontálními nebo vertikálními pásy pro vyztužení a zvýšení otvrdlosti vany. Tyto pásy se nazývají plazy. Konstrukce boku je tvořena boční křivkou, která se nazývá boční křivka. Boční křivka tvoří celek s bočním dílem plechu bokem a dohromady se to může označovat bokem lžíce. Bok lžíce může být doplněn o vyztužení v podobě boční výztuhy a připevňuje se k horní části břitu a vany. K odlišení u výrobců dochází v horním uzavření lžíce horním plechu kde dochází k problému s řešením upínání, které je různě navrhováno pro daný typ upínacího zařízení (tj. pro rychloupínání nebo epové upínání).

ešení horního uzav ení lžíce jsou r zná nap . specifickým ohnutým tvarem horního plechu, nebo v dnešní dob velmi používanou trubkou vyztužující horní plech, která má vyšší tuhost v ohybu a zpravidla zaru uje dlouhou životnost.

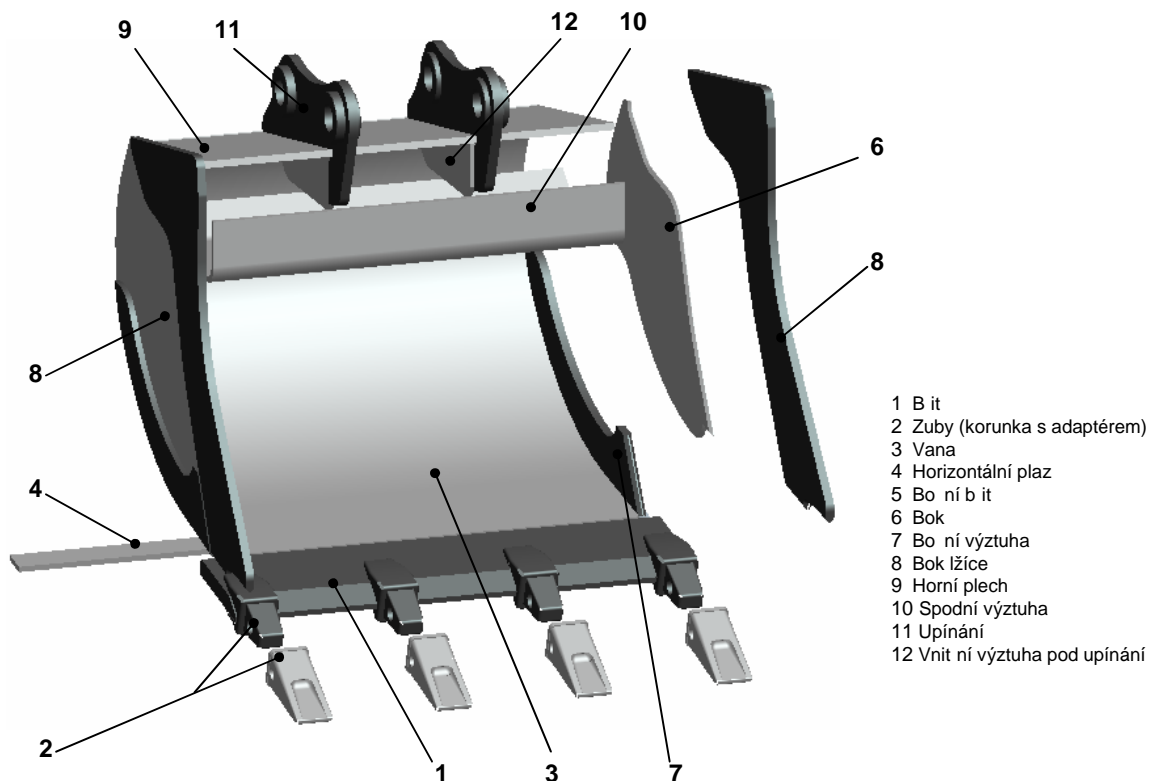


Obr.16 Ohnutý horní plech  
(upínání se přímo nava uje na plech)



Obr.17 Trubka vyztužující horní plech  
[zdroj:Nekr, s.r.o. ([www.Nekr.com](http://www.Nekr.com))]

Zadavatel [1] to eší v podob spodní výztuhy nebo – li plechu dvakrát ohnutého, do kterého p idává ještě vnit ní výztuhu, ímž zv tšuje celkovou tuhost horního plechu. Pro n j je tím dána i snadn jší pracnost p i sva ování r zných druh upínání pro jednotlivé ady lžic, protože si spodní výztuhu pat i n ohýbá resp. p izp sobuje jí pro jednotlivé upínací za ízení, které si nechává dodávat od subdodavatel (nap . Lennhoff ([www.Lennhoff.com](http://www.Lennhoff.com))). Konstruk ní rozbor ešení stávající lžíce typu „L“ se spodní výztuhou je na obr. 18.



Obr.18 Rozbor konstruk ního ešení lžíce typu „L“ pro t žká rýpadla

### 4.2.3 Materiály tvořící podkopové lžice typu „L“

Lžice při své pracovní činnosti jsou velmi namáhány od hloubkových sil, nákladek zemin, ale i klimatických podmínek. Proto výběr materiálu, z kterých jsou jednotlivé části lžice konstruovány musí mít především velký vliv na vysokou mez pevnosti  $R_m$  a mez kluzu  $R_e$ . Protože dochází i k velkému abrazivnímu opotřebení musí být lžice do jisté míry otěruvzdorné a korozivzdorné. Zároveň se musí jednat o materiály, které jsou dobře svařitelné.

Nejpoužívanějším materiálem se osvědčily plechy z konstrukční oceli s označením SN 11 523.1. Pro bity, kde dochází k velkému tlaku napětí od hloubkových sil se používají materiály z vysokopevnostní švédské konstrukční oceli s označením Hardox [P5]. Pro zuby, které jsou přímo vystavěny hloubkovým silám není dána jednotná norma, mezi výrobci zubů převládají 13% Mn-austenitické oceli na odlitky dle normy SN 422921 nebo některé druhy slitin. V tab. 3 jsou materiály jednotlivých lžic, pro které se dělá pevnostní výpočet.

Tab.3 Materiály dílů podkopových lžic typu „L“

Díl lžice	6	7	8	9	10	11
Bit	HDX 500	HDX 500	HDX 500	HDX 500	HDX 500	HDX 400
Boční bit	SN 11 523	SN 11 523	SN 11 523	SN 11 523	SN 11 523	SN 11 523
Bok	SN 11 523	SN 11 523	SN 11 523	SN 11 523	SN 11 523	SN 11 523
Výztuha boku	SN 11 523	SN 11 523	SN 11 523	SN 11 523	SN 11 523	SN 11 523
Vana	SN 11 523	SN 11 523	SN 11 523	SN 11 523	SN 11 523	SN 11 523
Horní plech	SN 11 523	SN 11 523	SN 11 523	SN 11 523	SN 11 523	SN 11 523
Výztuha	SN 11 523	SN 11 523	SN 11 523	SN 11 523	SN 11 523	SN 11 523
Plazy	SN 11 523	SN 11 523	SN 11 523	SN 11 523	SN 11 523	SN 11 523
Zuby	SN422921	SN422921	SN422921	SN422921	SN422921	SN422921

Pozn.: HDX 500,400 = Hardox s tvrdostí 500,400 HB (Brinell).

## 5 NAVRŽENÉ KONSTRUKCE A ÚPRAVY – INOVACE

Stávající nejvyšší lžíce (typy 10, 11), které jsou konstruovány pro těžká lopatová rýpadla, chce zadavatel [1] inovovat pro práci v těžších podmínkách.

Stávající korpus lžíce (lžíce bez zubů a upínání), který chce zadavatel [1] inovovat je navržen pro oblasti, kde rozpojovací síly dosahují jen 70% z maximálních sil, které hydraulické rýpadlo může vyvolat. Proto je předpoklad, že v těžších podmínkách, kde je potřeba pro rozpojení horniny vyvinout i maximální síly, by korpus mohl být porušen nebo dokonce trvale poškozen. Protože je velké nebezpečí i před abrazivním poškozením některých částí korpusu (od kameniva, nerost resp. hornin), byla navržena preventivní úprava korpusu (obr.19a, 19b) pro pracovní provoz lžíce v těžších podmínkách inovací stávající typy.

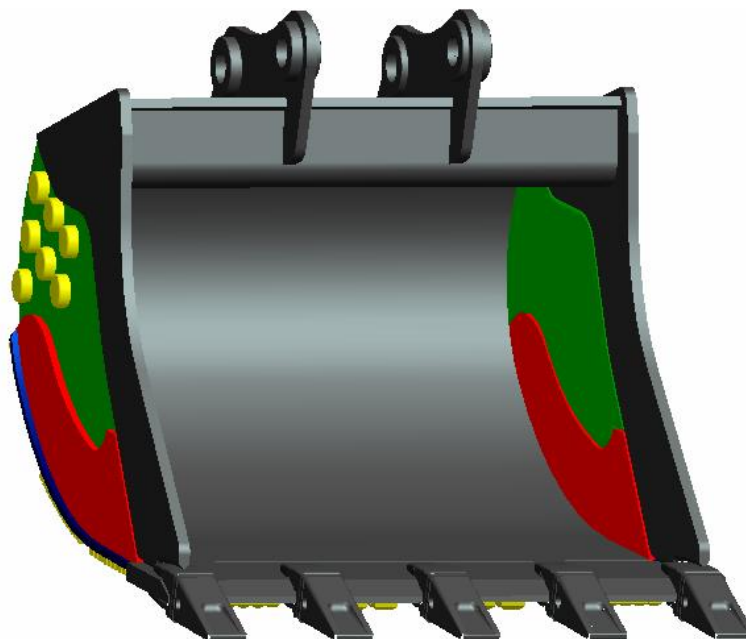
Bylo potřeba dodržet zásady, které si zadavatel stanovil, aby navržená opatření výrazně lžici neprodražila a lžíce splňovala normy zadané zadavatelem.

### Zásady inovace lžic „L“:

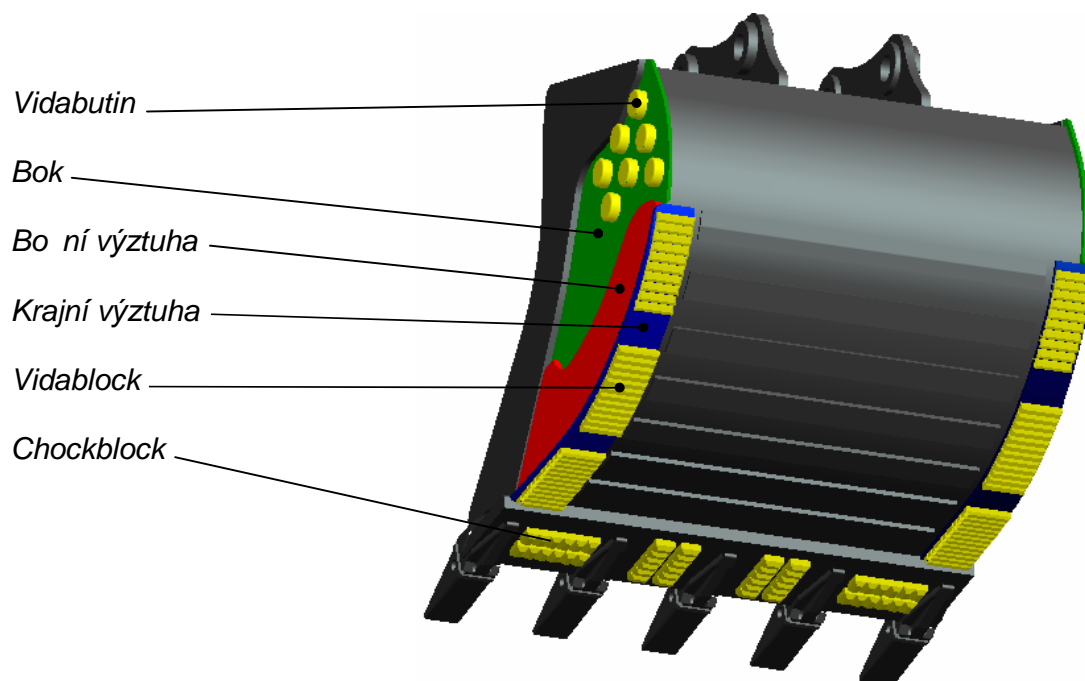
- **Zachování základních tvarů**
- **Zlepšení životnosti** (otrubzdornost, pevnost, trvanlivost)
- **Posuzování výsledků** (vytvoření výpočtové dokumentace stávající a inovované lžíce v porovnání s mezními hodnotami)
- **Porovnání efektivnosti**
- **Souhrn a perspektiva pro výrobu**

Po prostudování vhodných konstrukčních opatření, ke kterým se u hloubkových lžic v současné době přistupuje a po konzultaci se zadavatelem [1], bylo navrženo vyztužení vysokopevnostními a otrubzdornými materiály (kap.5.1.3). Na kraje vany byla navržena krajní výztuha (kap.5.1.2), na kterou se přímo budou navažovat otrubzdorné materiály a navrhla se i změna tvaru boku lžíce (kap.5.1.1).

### Inovační návrh podkopové lžice typu „L“



Obr.19a Inovační návrh podkopové lžice typu „L“ pro práce v těžších podmínkách



Obr.19b Navržené rozmístění vysokopevnostních a otvrdzovacích materiálů označovaných vidabutin, vidablock, chockblock na zadní část korpusu lžice

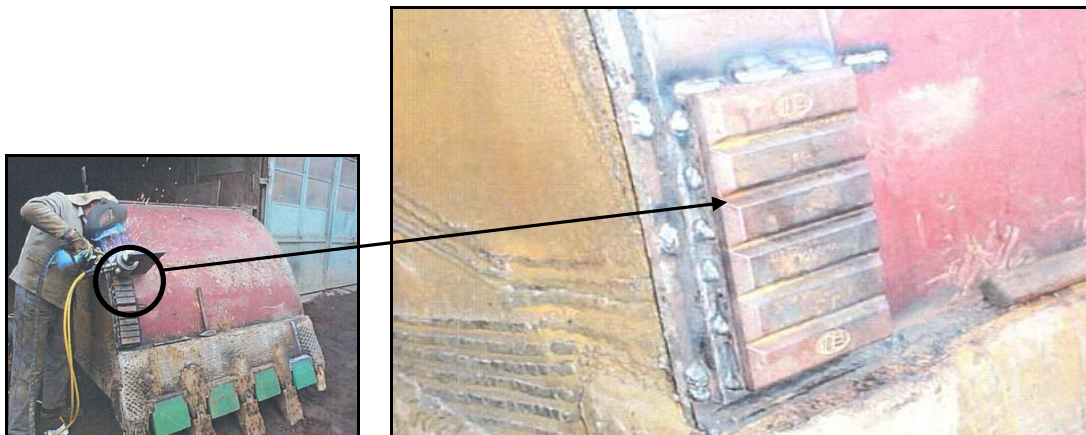
## 5.1 Popis navrhnutých inovací

### 5.1.1 Bok Lžice

Ze stávajících plech, ze kterých je provedení, tedy z konstrukce oceli 11 523.1 se navrhlo inovací zlepšení, které by zvýšilo tuhost boku lžice a zlepšilo ochranu pro pracovní proces v těžších podmínkách. Samotná velikost boku lžice zůstane stejná, protože by zůstane stejný jen se změnil tvar boku výztuhy a boku. Tvar se navrhl charakteristický pro lžice typu „L“, které vyrábí zadavatel [1].

### 5.1.2 Krajní výztuha

Krajní výztuha je přidávaný díl, který je ohýbaný podle tvaru vany. Jedná se o plech z konstrukce oceli 11 523.1. Zpevní a vyztuží okraje vany, kde je přechod mezi vanou a bokem lžice. Zároveň se stane vhodným dílem pro navení ochranných vysokopevnostních materiálů jak znázorňuje obr. 20.



obr.20 Vysokopevnostní materiály v libovolném množství navené na krajní výztuhu

### 5.1.3 Vysokopevnostní a ot ru vzdorné materiály

Vysokopevnostní a ot ru vzdorné díly, které se nazývají „Chockblock“, „Vidablock“ nebo „Vidabutin“ [P6] zvyšují tuhost i celkovou pevnost korpusu podkopové lžice typu „L“. Jedná se o odlitky z chromové oceli, které se zušlech ují na pevnost až 1800 MPa. Tyto p ídavné díly nabízejí cenov ýhodnou a efektivní ochranu proti ot ru p í maximálním nasazení podkopové lžice v t žkých podmínkách. Libovoln ě se nava ují na rizikové oblasti, tj. b ítu, bok lžice, okraje vany pomocí jednoduchých svá ecích nástroj ů a svá ecího materiálu. Tím je zaru ěn i nekomplikovaný technologický postup.



Obr.21 Vysokopevnostní materiály  
[zdroj:Esco ([www.Escoeurope.com](http://www.Escoeurope.com))]



Obr.22 Možné umíst ění „Chockblocku“ na spodní ást b ítu

V tab. 4 jsou mechanické vlastnosti vysokopevnostních materiál ů a navržených díl ů dopln ěné o hodnoty pom ěrné odolnosti proti abrazivnímu opot ebení.

Tab.4 Materiály navržených inova ních ástí

Navržené úpravy	Ozna ění materiálu	Pom ěrná odolnost proti abrazivnímu opot ebení [-]	Tvrdost [HB]	Mez pevnosti $R_m$ [MPa]
Chockblock	SN 14 140	2,93	min 590	nad 1600
Vidablock	SN 14 140	2,93	min 590	nad 1600
Vidabutin	SN 14 140	2,93	min 590	nad 1600
Bok lžice	SN 11 523	1,94	274	630
Krajní výztuha	SN 11 523	1,94	274	630

## 6 PEVNOSTNÍ VÝPO ET PODKOPOVÉ LŽÍCE

Pevnostní výpo et podkopové lžíce vychází z vn ějších sil, které na lžici p sobí. Pro jejich ur ení, tj. velikosti t chto sil, jejich sm ru i p sob íšt se musí definovat z jakých p edpoklad ů se vychází.

Vychází se z t chto p edpoklad ů :

1. Lžíce rýpá zeminu p i pohybu z dola nahoru.
2. Pohyb zubu lopaty je po kružnici o polom ru  $R$ ,  $r$  zp soben otá ením násady okolo bodu A, nebo lžíce okolo bodu B.
3. Výpo tové podmínky se berou ty, které odpovídají nejt žšímu režimu práce, tj. v postavení lžíce p i maximálním rozpojovacím ú inkem.
4. Vn ější síly se ur ují na základ ů rozboru hloubících sil vznikajících na hrotu zub ů pohybem pracovního za ízení.
5. Velikost hloubících sil je omezena základní podmínkou stability zemního stroje.

### 6.1 Hloubící síly

Pracovní inností podkopové lžíce p i vníkání i rýpání lžíce do zeminy nebo materiálu, ale i pohybem záb ru lžíce pracovním materiálem dochází ke kontaktu, reakci na plochách zubu, resp. korunce zubu, s dolovaným materiálem. V tom okamžiku na ězných plochách zubu vznikají síly, které zp sobují nap tí v konstrukci lžíce a dále namáhají i jednotlivé ásti pracovního za ízení. Tyto síly se ozna ují jako rozpojovací resp. hloubící síly.

Sm r a velikost p sobení se dá jen velmi obtížn ů posoudit, protože odpor zeminy proti rozpojování se m ní nahodile. Výrobci zemních stroj ů tyto síly ur ují podle normy SAE J1179 a klasifikace PCSA .3.

Norma je vymezuje na dv ů a nazývá je rýpnou a vylamovací sílou.



### 6.1.1 Rypná síla

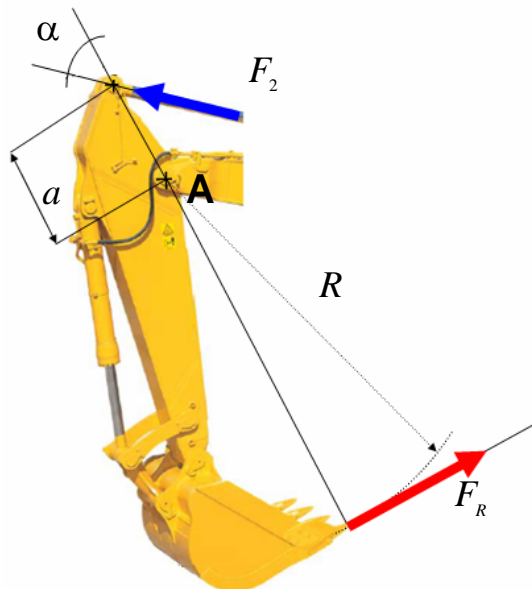
Rypná síla je stanovena jako síla na rypné ploše špičky zubu způsobená silou hydromotoru násady  $F_2$  a ramen pracovního zařízení  $a, R$ . Má se vztahovat ke kruhovému oblouku o poloměru  $R$ . Maximální hodnoty dosáhne v případě, kdy svírá násada s hydraulickým válcem úhel  $\alpha = 90^\circ$ .

$$F_R = \frac{F_2 \cdot k_k \cdot a \cdot \sin(\alpha)}{R} \quad [\text{N}] \quad (3)$$

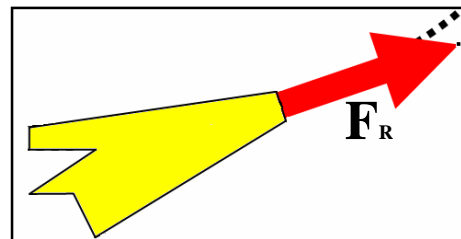
Proto se bude uvažovat, že vyvolaná rypná síla  $F_R$  bude mít při působení stejných zubů stejnou velikost silového účinku na všech stejných zubech.

Kde:

$F_R$  [N].....je rypná síla na zubech podkopové lžice,  
 $F_2$  [N].....je síla vyvozená hydraulickým válcem násady,  
 $a$  [mm].....je vzdálenost úchytného bodu hydromotoru násady a otočného kloubu násady (bod A) s výložníkem,  
 $R$  [mm].....udává poloměr otočného kloubu násady ke hrotu zubu,  
 $k_k$  [kN/m<sup>2</sup>].....součinitel odporu rypání (tab.6),  
 $i$ .....1,2,3 atd.



Obr.23a Schéma výpočtu rypné síly



Obr.23b Detail uvažovaného směru působení rypné síly na rypné ploše zubu vyvozené hydromotorem násady při rozpojování zeminy

$F_R$  (3) se dosadí do vztahu pro rypný tlak působící na rozpojování zeminy vznikající na rypné ploše špičky zubu, který působí proti rypnému odporu zeminy.

$$p_R = \frac{F_R}{A_{ZR}} = \frac{F_2 \cdot k_k \cdot a \cdot \sin(\alpha)}{R} \cdot \frac{1}{A_{YR}} \quad [\text{MPa}] \quad (4)$$

Proto se bude uvažovat, že působící rypný tlak  $p_R$  bude mít při stejných zubech stejný veliký úinek na všech stejných zubech.

Kde:

$p_R$  [MPa].....je rypný odpor na zubech podkopové lžice .

$A_{ZR}$  [mm<sup>2</sup>].....je rypná plocha špičky zubu.

$i$ .....1,2,3 atd.

Pozn.: Rypná plocha špičky zubu je rozdílná pro různé modifikace zubu, v nichž kterých případech tvary zubů mohou mít jen rypnou hranu, nikoliv plochu.

### 6.1.2 Vylamovací síla

Vylamovací síla je stanovena jako síla na vylamovací ploše špičky zubu, způsobená výhradně silou hydromotoru lžice  $F_3$  (1), procházející ve směru kolmém ke spojnici osy otáčení lžice na násadu a plochy špičky zubu působící ve směru pohybu lžice. Má se tangenciálně ke kruhovému oblouku o poloměru  $r$ .

$$F_v = \frac{c \cdot b}{d} \cdot \frac{F_3 \cdot k_k}{r} \quad [\text{N}] \quad (5)$$

Proto se bude uvažovat, že vyvolaná vylamovací síla  $F_v$  bude mít při stejných zubech stejný veliký silový úinek na všech stejných zubech.

Kde:

$F_v$  [N].....je vylamovací síla na zubech lžice,

$F_3$  [N].....je síla vyvozená hydromotorem lžice,

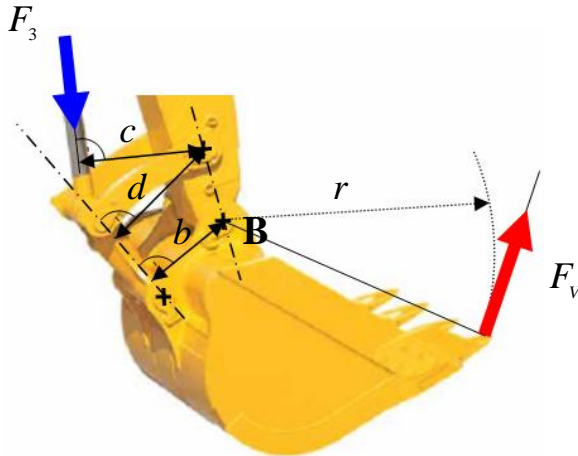
$c$  [mm].....zná vzdálenost kolmice od hydromotoru lžice k úchytnému epu vratného mechanismu k násadě ,

$d$  [mm].....zná vzdálenost kolmice spojovací vzpěry vratného mechanismu k úchytnému epu vratného mechanismu k násadě ,

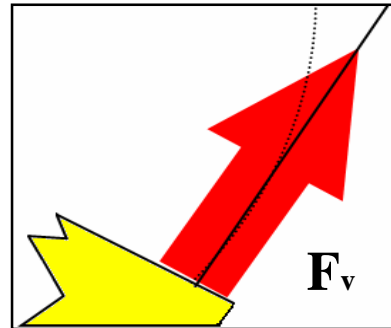
$b$  [mm].....zná vzdálenost kolmice spojovací vzpěry vratného mechanismu k úchytnému epu násady (bod B) k lžici,

$r$  [mm].....udává poloměr kruhového kloubu lžice ke hrotům zubů ,

$k_k$  [KN/m<sup>2</sup>].....souinitel odporu rýpání (tab.6),  
 $i$ .....1,2,3 atd.



Obr.24a Schéma výpočtu vylamovací síly



Obr.24b Detail uvažovaného směru působení vylamovací síly na vylamovací ploše zubu vyvozené hydromotorem lžice při rozpojování zeminy

$F_v$  (5) se dosadí do vztahu pro vylamovací tlak potřebný k rozpojování zeminy vznikající na vylamovací ploše špičky zubu, který působí proti rýpnému odporu zeminy.

$$p_v = \frac{F_v}{A_{zv}} = \frac{c \cdot b}{d} \cdot \frac{F_3 \cdot k_k}{r} \cdot \frac{1}{A_{zv}} \quad [\text{MPa}] \quad (6)$$

Proto se bude uvažovat, že při stejných zubech bude vylamovací tlak  $p_v$  působit na všechny zuby stejnou velikostí.

Kde:

$p_v$  [MPa].....je vylamovací tlak na zubech podkopové lžice,  
 $A_{zv}$  [mm<sup>2</sup>].....je vylamovací plocha špičky zubu,  
 $i$ .....1,2,3 atd.

Pozn.: Vylamovací plocha špičky zubu je rozdílná pro různé modifikace zubu, v nichž různých případech tvary zubů mohou mít jen vylamovací hranu, nikoliv plochu.

### 6.1.3 Velikosti hloubících sil

Jednotlivá lopatová rýpadla mají různé druhy pracovního zařízení (jednodílné nebo dvoudílné výložníky a násady, ...), které se vhodně nastavují pro pracovní proces v normálních nebo těžších podmínkách. Tím se mění záběrové dráhy a tedy i velikosti hloubících sil. Proto údaje udávané v tabulce 5 jsou toleranční hodnoty, které vznikly vyhodnocením maximálních hloubících sil různých typů lopatových rýpadel, které uvádí největší výrobci [4]. Výrobci je vztahují ke kinematice svého druhu pracovního zařízení. Hloubící síly jsou proto různé. Údaje udávané v tabulce 5 jsou toleranční rozsahové hodnoty pro podkopové lžice typu „L“, které vyrábí zadavatel [1]. Tabulka 6 znázorňuje stoupající součinitel odporu rýpání  $k_k$  podle druhu podkladu.

Tab.5 Toleranční hodnoty rýpné a vylamovací síly lžic pro které se dělá pevnostní výpočet

Typ rýpadla a lžice	Jmenovitá provozní hmotnost G [t]	Výkon hnacích motorů P [kW]	Orientační jmenovitý objem lžice V <sub>j</sub> [m³]	Orientační šířka lžice [mm]	Počet zubů lžice	Rýpná síla F <sub>r</sub> [kN]	Vylamovací síla F <sub>v</sub> [kN]
6	8,5 - 12,5	50 - 70	0,087 – 0,393	300 – 1000	3 - 6	45 - 60	60 - 80
7	12,5 - 16,7	70 - 100	0,196 – 0,709	400 – 1100	3 - 6	50 - 80	67 - 110
8	16,7 - 20	100 - 120	0,299 – 0,896	500 – 1200	3 - 5	70 - 110	90 - 140
9	20 - 25	120 - 150	0,419 – 1,109	600 – 1300	3 - 5	90 - 150	117 - 180
10	25 - 31	150 - 190	0,578 – 1,573	700 – 1400	3 - 5	140 - 185	167 - 220
11	31 - 42	190 - 230	1,001 – 2	900 – 1600	3 - 5	150 - 220	180 - 264

Tab.6 Hodnoty součinitele rýpání podle normy SN 73 3050 Zemní práce

Druh zeminy	$k_k$ [kN/m²]
nesoudržné zeminy	1,05 - 1,15
horniny středně rozpojitelné, horniny soudržné	1,2 - 1,25
horniny lehce rozpojitelné trháčemi pracemi	1,25 - 1,3
horniny těžce rozpojitelné trháčemi pracemi	1,35 - 1,4
horniny velmi těžce rozpojitelné trháčemi pracemi	1,4 - 1,5

## 7 SESTAVENÍ VÝPOČTOVÉHO MODELU

### 7.1 Výběr efektivní metody pevnostního výpočtu

Vhodná volba efektivní metody řešení pevnostního výpočtu podkopové lžice znamená zisk v rozhodných výsledcích, z kterých lze možno vyvodit pravdivý závěr. Vzhledem k tomu, že nejsme schopni v současné době řešit pevnostní výpočet lžic experimentálně, je nejvhodnější použít metodu výpočtového modelování. Složitá geometrie, prostorové zatížení, vhodné okrajové podmínky znemožňující analytické řešení vede k řešení metodou konečných prvků (MKP).

MKP je založena na rozdělení (diskretizaci) dané spojité oblasti konečným počtem prvků (elementů). Každý prvek je tvořený uzlovými body, ve kterých se řeší hledané neznámé parametry (posuvy, ...). Formálně se dá říci, že hledání neznámého počtu parametrů řešené oblasti je nahrazeno hledáním konečného počtu hodnot neznámých parametrů, z nichž lze zkonstruovat přibližné řešení.

### 7.2 Volba výpočtového systému

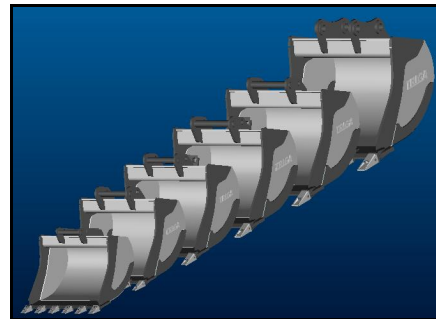
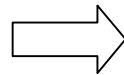
Vytvořit vhodné modely geometrických tvarů podkopových lžic, které by odpovídaly požadavkům zadavatele nebyla jednoduchá záležitost, a proto byl zvolen modelový systém CAD Pro/EngineerWildfire3.0. Tento systém je schopen virtuální modely řešených podkopových lžic v patřičné kvalitě namodelovat a transferem dat převést do výpočtového systému pro řešení MKP. Pro výpočet metodou konečných prvků byl zvolen výpočtový software AlgorV19.3 SP2 od americké firmy Algor Inc., který velmi dobře spolupracuje s modelovými softwary, a je přímo navázaný na CAD systémy. Vysoké hardwarové požadavky obou softwarů splnili počítače v laboratoři digitálního prototypu fakulty strojní Technické univerzity v Liberci, které mají patřičnou licenci pro užívání.

### 7.3 Model podkopové lžíce typu „L“

Základním podkladem pro tvorbu modelů jednotlivých podkopových lžic typu „L“ (dále jen modely), které by splňovaly rozměrové a geometrické tvary skutečných podkopových lžic typu „L“ se stala z části poskytnutá výkresová dokumentace zadavatele [1].

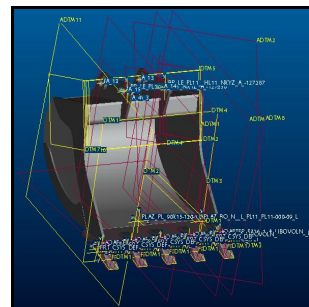
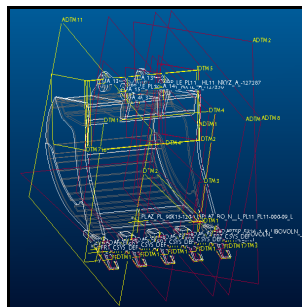
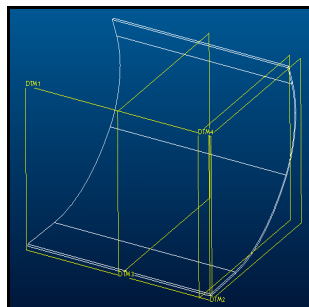


Obr.25 Skutečná sada podkopových lžic



Obr.26 Virtuální sada podkopových lžic připravená pro pevnostní výpočet

Pro tvorbu jednotlivých modelů byl vybrán již zmíněný CAD Pro/EngineerWildfire3.0. Jedná se o velmi výkonný konstrukční modelovací systém, který je používán nejen na technických školách, ale i ve strojním průmyslu. Při modelování byly dodrženy všechny podstatné rysy konstrukce jednotlivých částí tj. odpovídající tvarové, délkové a šířkové rozměry. Model byl zjednodušen jen o to, které úhly, malé radii a zaoblení, které pro výpočet neměly praktický význam. Všechny části konstrukce modelu byly sestaveny v příslušných vazbách v modelový celek nebo-li připravený model pro transfer do systému pro výpočet metodou konečných prvků.



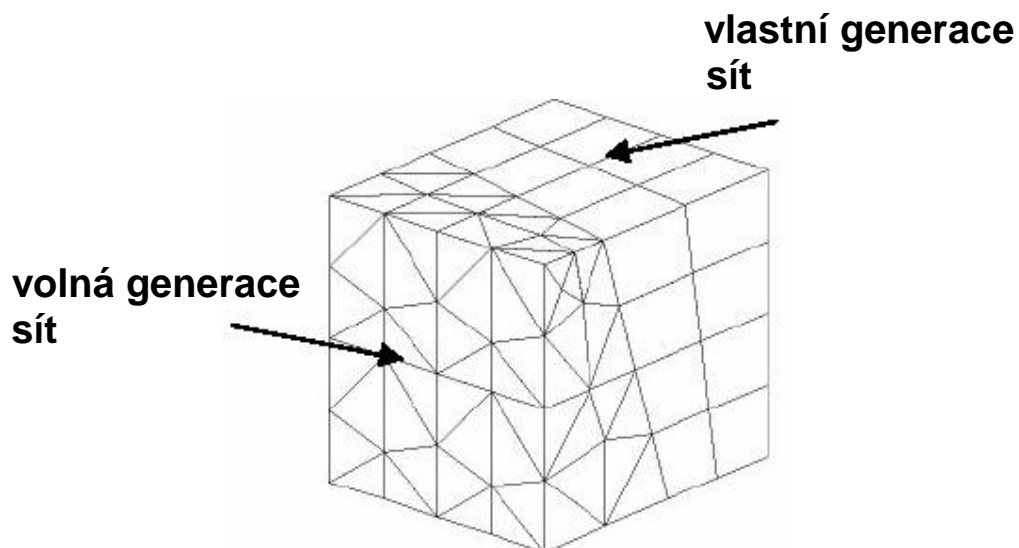
Obr.27 Tvorba modelu podkopové lžíce typu „L“ v CAD Pro/Engineer (od tvorby jednotlivých částí, po konečný celek)

## 7.4 Kone n prvkový model

Na kontinuálním (spojitém) modelu se provedlo rozd lení celé ešené oblasti kone ným po tem ur itých prvk (element ) nebo – li diskretizací ešené oblasti. R zné typy prvk jsou charakteristické nejen svým tvarem, ale p edevším polohou a po tem uzlových bod (dále jen uzly), v nichž hledáme neznámé parametry ešení. Nahrazením ešené oblasti danými prvky byla vytvo ena sí z jednotlivých prvk , která svou hustotou výrazn ovliv uje asovou náro nost výpo tu, ale p edevším kvalitu výsledného ešení.

Algor umo ŝ uje generovat sí kone ných prvk dv ma zp soby:

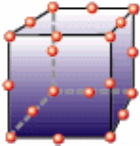
- a) volná generace sít, která využívá kone ných prvk tzv. šestist n nebo ty st n pro komplikované 3D modely p evážn importované z CAD systém , nebo pro 2D modely využívá ty úhelník nebo trojúhelníku.
- b) Vlastní generace sít, která se využívá pro jednodušší geometrické tvary model tvo ené p ímo v Algoru. Výhodou je geometricky pravideln uspo ádaná sí , kterou si uživatel m že sám navrhne. Sí využívá pro 3D modely kone né prvky šestist ny a pro 2D modely ty úhelníky.



Obr.28 Sí kone ných prvk v systému Algor

### 7.4.1 Typy použitých prvků

Vzhledem k tomu, že se jedná o prostorový model byly pro tvorbu sítě zvoleny objemové prvky šestistěnné (brick) doplněné o subelementy čtyřstěnné (tetrahedrony), které pro řešení nabízí knihovna systému Algor.



→ Volebný solid prvek šestistěnný (brick) se používá pro 3D tělesa. Základním tvarem je šestistěnný s kvadratickými bázevými funkcemi, je definován 20 uzly v nichž každý má tři stupně volnosti – tři posuvy (ve směru osy X,Y,Z)



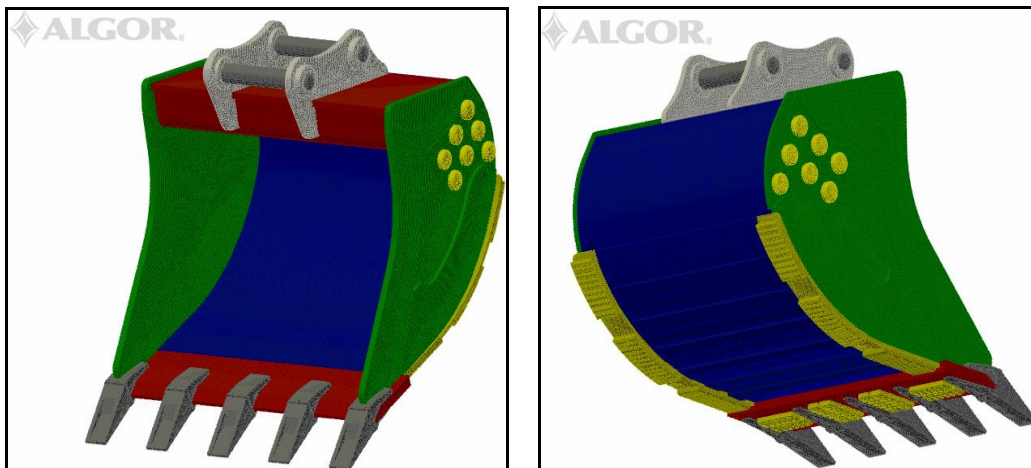
→ Volebný solid prvek čtyřstěnný (tetrahedron) se používá pro 3D tělesa. Základním tvarem je čtyřstěnný s kvadratickými bázevými funkcemi, je definován deseti uzly v nichž každý má tři stupně volnosti – tři posuvy (ve směru osy X,Y,Z)

### 7.4.2 Vlastní tvorba konečnoprvkové sítě modelu

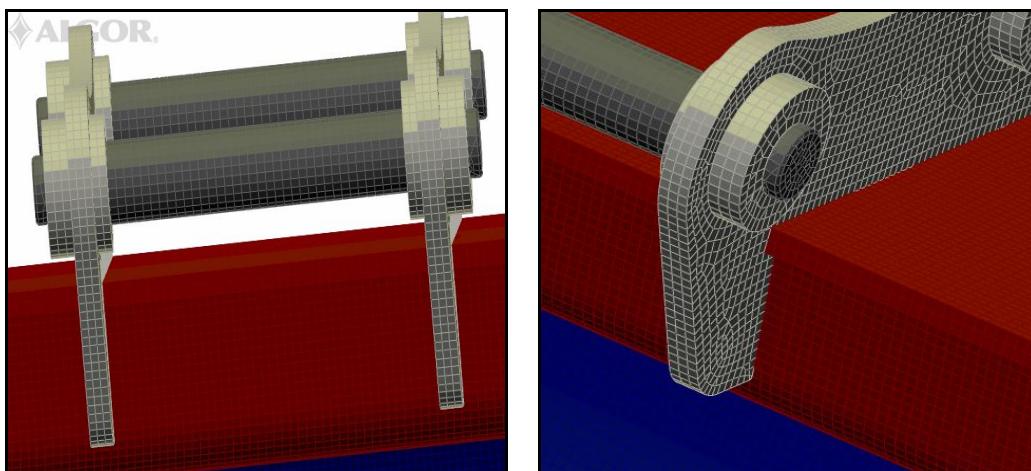
Jednotlivé díly sestavené v model jsou různě geometricky tvarované a na sebe přesně napojované ve vazbách. Přesto při importaci dat jednotlivých modelů z CAD systému do výpočetního systému Algor docházelo k porušení importovaného modelu. Vytvořila by se tak nedokonalá síť prvků, která by nevedla k odpovídajícímu řešení nebo by se pevnostní výpočet vůbec nevyešil. Systém Algor upozorní na problémová (varovná) místa a doporučí je přímo opravit v modelu, který je jeho součástí. Předešlo se tím možným chybám a nepřesným výsledkům za cenu určitých úprav původního modelu. Takto upravenému modelu byla automaticky generována síť konečných prvků pomocí volné generace sítě (kap. 7.4).

Výsledná konečnoprvková síť pro nejvtěší model tedy lžice třídy 11 (obr.28) se generovala s optimálním počtem prvků [P4] tak, aby se předešlo nežádoucím chybám resp. zkraseným výsledkům. Zároveň pro časovou náročnost výpočtu se navrhla taková hustota sítě, aby pevnostní výpočet modelu byl časově zvládnutelný. Hustota sítě byla navržena podle testovacích výpočtů (kap. 8.1.2). Pro příslušné díly, které tvoří podkopovou lžici (bit, vana, krajní výztuha, ...) bylo zavedeno svažené spojení (tzv. welding), které nabízí pro řešení lineární statické analýzy systém Algor, model se tak chová jako svažený.

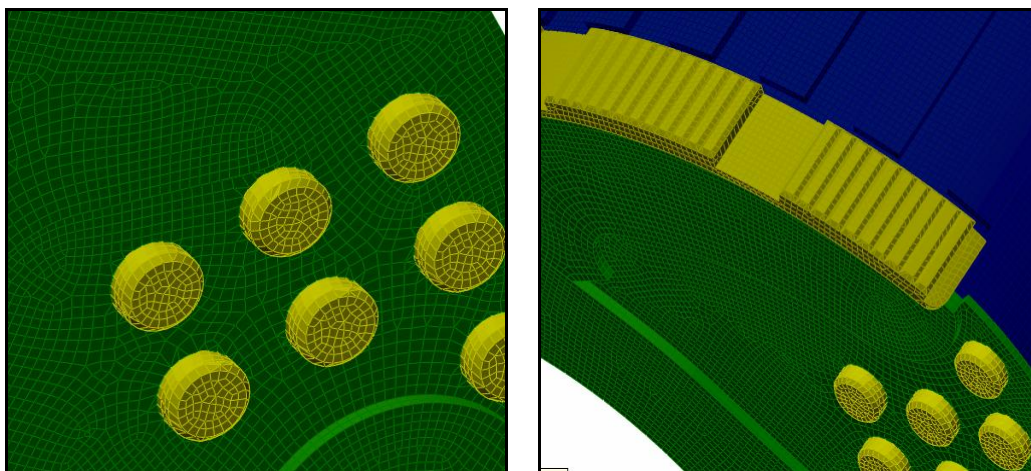




Obr.29 Výsledná konečná prvková síť modelu lžice v systému Algor



Obr.30 Detail sítě upínání s přidávanými prvky od upínacího zařízení



Obr.31 Napojená problémová místa(spojení krajní výztuhy s bokem lží a vanou,...)

### 7.4.3 Materiálové vlastnosti modelu

Model lžice je tvořený z jednotlivých částí které mají ocelovou matici, proto lze materiál modelu považovat za homogenní a izotropní materiál.

Takový materiál lze popsat 2 konstantami:

- modulem pružnosti v tahu a tlaku  $E$  [MPa]
- Poissonovým číslem  $\mu$  [-]

Tab.8 Materiálové konstanty stávajících částí lžice třídy 11

Jednotlivé části lžice	Označení materiálu	Modul pružnosti $E$ [MPa]	Poissonovo číslo $\mu$ [-]
Adapter	SN 422921	210000	0,3
Korunka	SN 422921	210000	0,3
Bit	HDX 400	215000	0,3
Bok lžice	SN 11 523	206000	0,3
Horní plech	SN 11 523	206000	0,3
Spodní výztuha	SN 11 523	206000	0,3
Upínací zařízení	SN 11 523	206000	0,3
Vnitřní výztuha	SN 11 523	206000	0,3
Boční plaz	SN 11 523	206000	0,3

Tab.9 Materiálové konstanty navržených inovovaných dílů pro lžice třídy 11

Navržené úpravy lžice	Označení materiálu	Modul pružnosti $E$ [MPa]	Poissonovo číslo $\mu$ [-]
Chockblock	SN 14 140	210000	0,3
Vidablock	SN 14 140	210000	0,3
Vidabutin	SN 14 140	210000	0,3
Bok lžice	SN 11 523	206000	0,3
Krajní výztuha	SN 11 523	206000	0,3

## 7.5 Okrajové podmínky modelu

### 7.5.1 Silové podmínky

Silové podmínky nebo-li zatížení se pro model zavedly podle kapitoly 6.1. Velikosti hloubicích sil se pro pevnostní výpočet zvolily podle tab.5 (kap. 6.1.3).

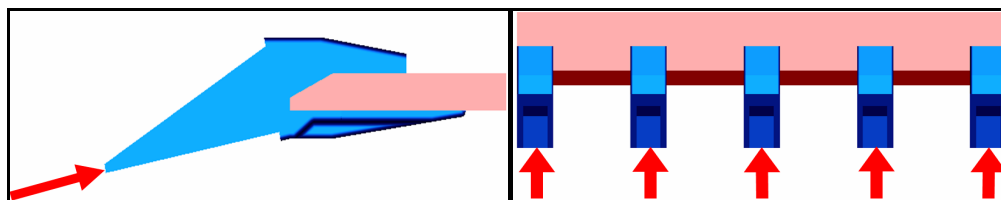
Stanovené zatížení stavy se pro pevnostní výpočet ještě doplnily podle požadavků zadavatele [1] o varianty zatížení plynoucí ze stanovených zatížení stavy.

Bylo stanoveno 7 zatížení stavy :

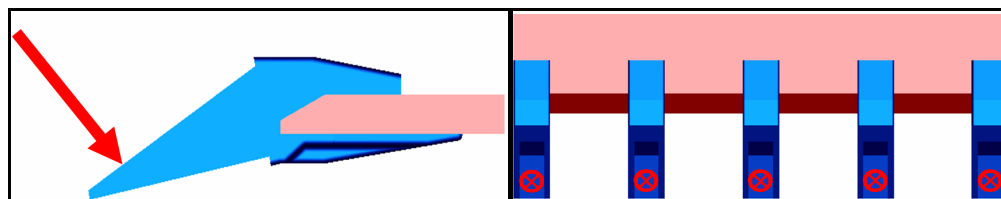
1. Zatížení stav: 100% velikost rypné síly působící na celé rypné ploše všech zubů (obr.7.5.1.1)
2. Zatížení stav: 100% velikost vylamovací síly působící na celé vylamovací ploše všech zubů (obr.7.5.1.2)
3. Zatížení stav: 60% velikost rypné síly působící na celé rypné ploše všech zubů (obr.7.5.1.3)
4. Zatížení stav: 60% velikost vylamovací síly působící na celé vylamovací ploše všech zubů (obr.7.5.1.4)
5. Zatížení stav: 50% velikost vylamovací síly působící na celé boční ploše pravého krajního zubu z elního pohledu (obr.7.5.1.5)
6. Zatížení stav: 80% velikost rypné síly působící na celé rypné ploše na 2 krajní levé zuby z elního pohledu (obr.7.5.1.6)
7. Zatížení stav: 70% velikost vylamovací síly na celé vylamovací ploše středového zubu (obr.7.5.1.7)

Tab.10 Zvolené velikosti hloubicích sil pro modely  
lžic, pro které se měl pevnostní výpočet

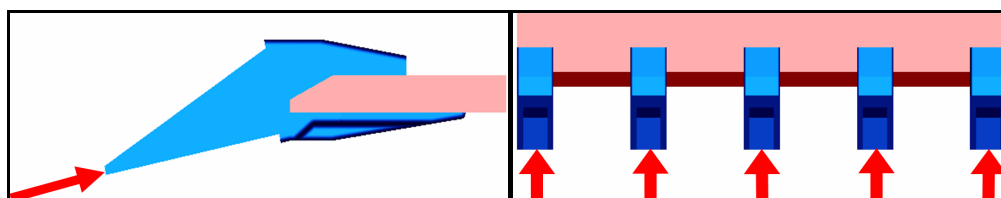
Typ lžice	Rypná síla $F_R$ [N]	Vylamovací síla $F_v$ [N]
6	47 300	66 200
7	67 700	102 500
8	103 000	121 200
9	138 000	163 800
10	161 000	189 000
11	190 000	226 800



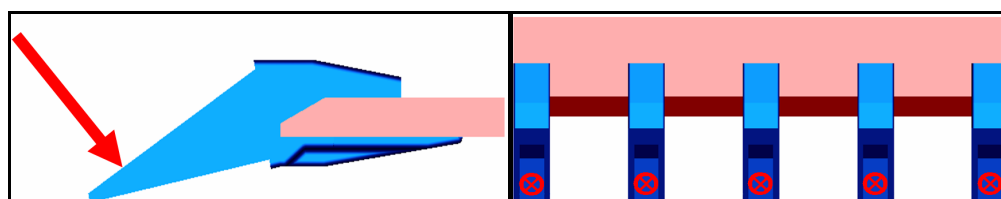
obr.7.5.1.1



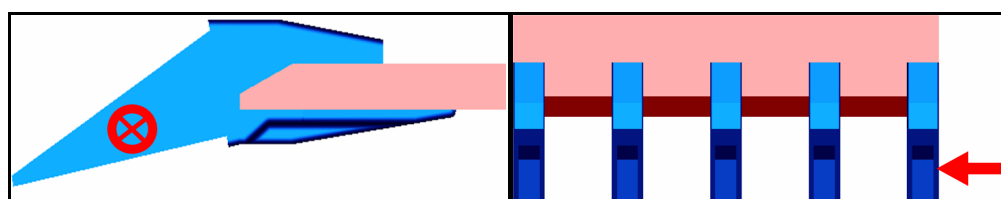
obr.7.5.1.2



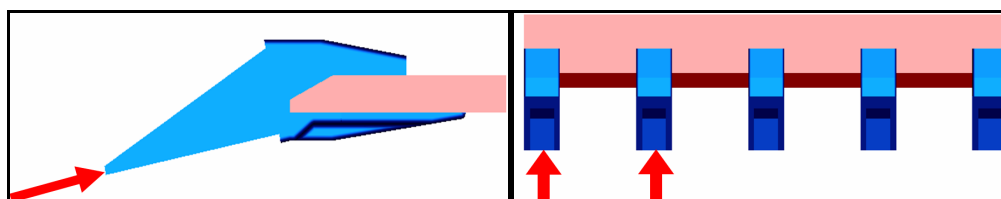
obr.7.5.1.3



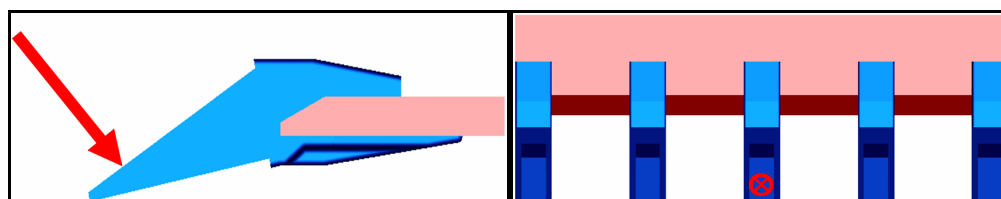
obr.7.5.1.4



obr.7.5.1.5



obr.7.5.1.6

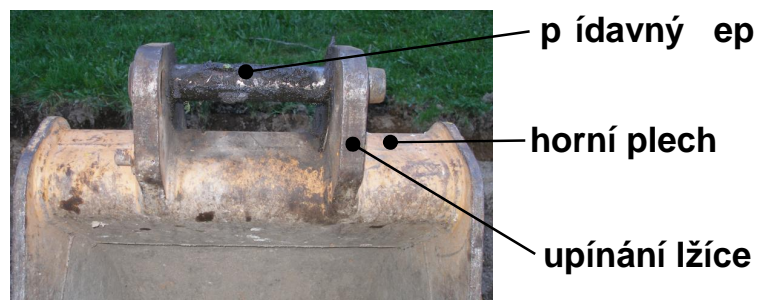


obr.7.5.1.7

### 7.5.2 Geometrické okrajové podmínky

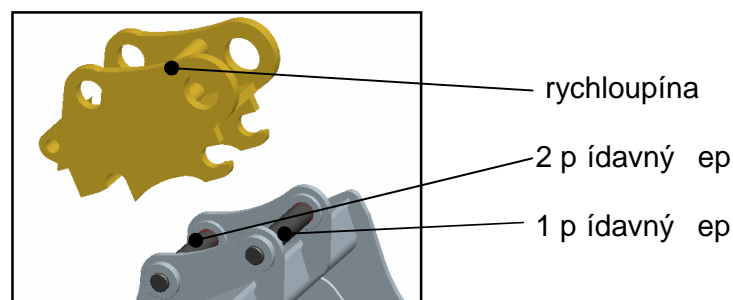
Geometrické okrajové podmínky (dále jen vazby) popisují, jak je u výpočetního modelu omezena pohyblivost (stupeň volnosti) prvků resp. jejich okrajových uzlů. Vhodné zavedení vazeb vede k přesnému výpočetnímu řešení.

Pro zadání odpovídajících vazeb výpočetnímu modelu, se nejprve muselo stanovit, jak je uložena skutečná podkopová lžice (dále jen lžice) k pracovnímu zařízení. Lžice má na horním plechu upínání (kap. 4.2.2.1), které se připojuje k upínacímu zařízení (rychloupínači, ...), který je připojený k vratnému mechanismu pracovního zařízení. Proto se do upínání lžice přidávají zpravidla 2 přidavné body upínacího zařízení. Tyto přidavné body slouží k připojení upínacího zařízení k upínání lžice.



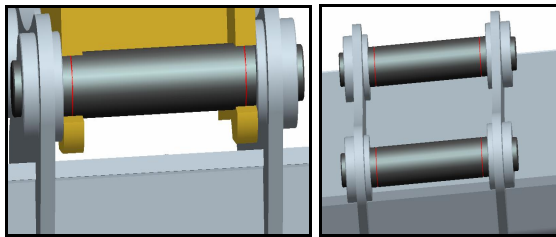
Obr.32 Popis upínání lžice s přidávaným bodem od upínacího zařízení

Proto byly pro výpočetní model dodatečně vymodelovány přidavné body, které se do výsledného řešení nezapočítávaly. Zavedení přidavných bodů (dále jen bod) přispělo pro zavedení vhodných vazeb odpovídajících uložení lžice k rychloupínači. Pro přibližné stanovení oblastí, kde dochází k uchycení bodů k rychloupínači byl vymodelován rozměrově totožný virtuální rychloupínač.

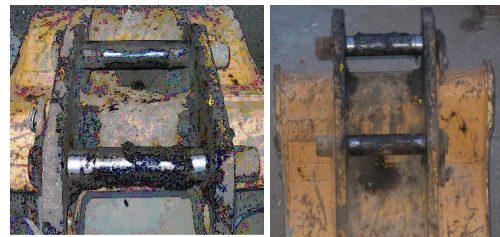


Obr.33 Ilustrativní připojení rychloupínače k lžici

Ve skutečnosti přiipojení rychloupína k ep m dochází v místech uchycení ke kontaktu mezi epy a rychloupína m. Proto by se m ly na tato místa pro pevnostní výpo et zavést kontaktní prvky. Protože je pevnostní výpo et postaven na ešení modelu lžíce (Pozn.: p edevším korpusu lžíce) a kontaktní nap tí v p ídavných epech bylo pro celkové ešení p ílišnou komplikací, zavedlo se vhodné zjednodušení. Pro zjednodušení se bude p edpokládat, že se rychloupína bude chovat jako rám, na kterém jsou p ídavné epy uloženy.



Obr.34 Vymezení oblastí pro odpovídající vazby výpo etního modelu

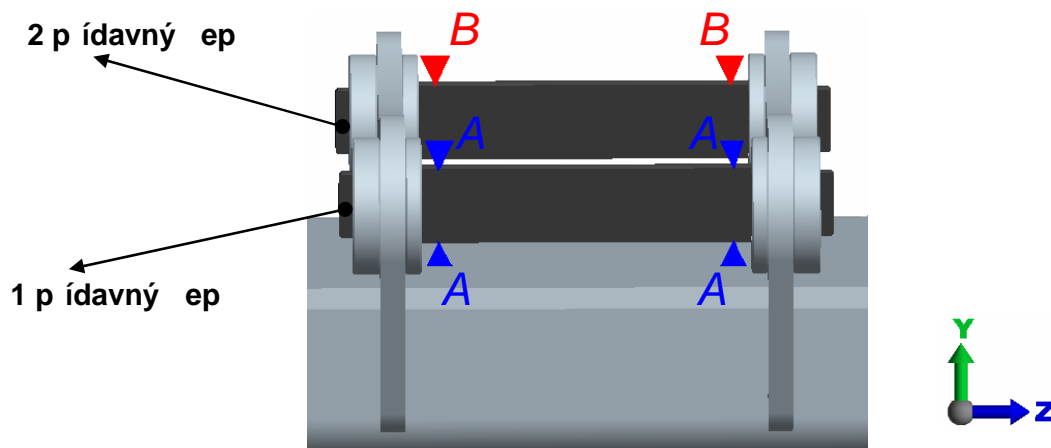


Obr.35 Oblasti otla ení ep od uložení k rychloupína i na skute né lžíci

V místech uchycení rychloupína k epu resp. ve středech těchto míst (místa A, B) podle obr. 36 se po celém obvodu epu zavedly vazby, které vhodným zjednodušením nahradily skutečné uložení lžíce k rychloupína i.

#### Zavedení vazeb:

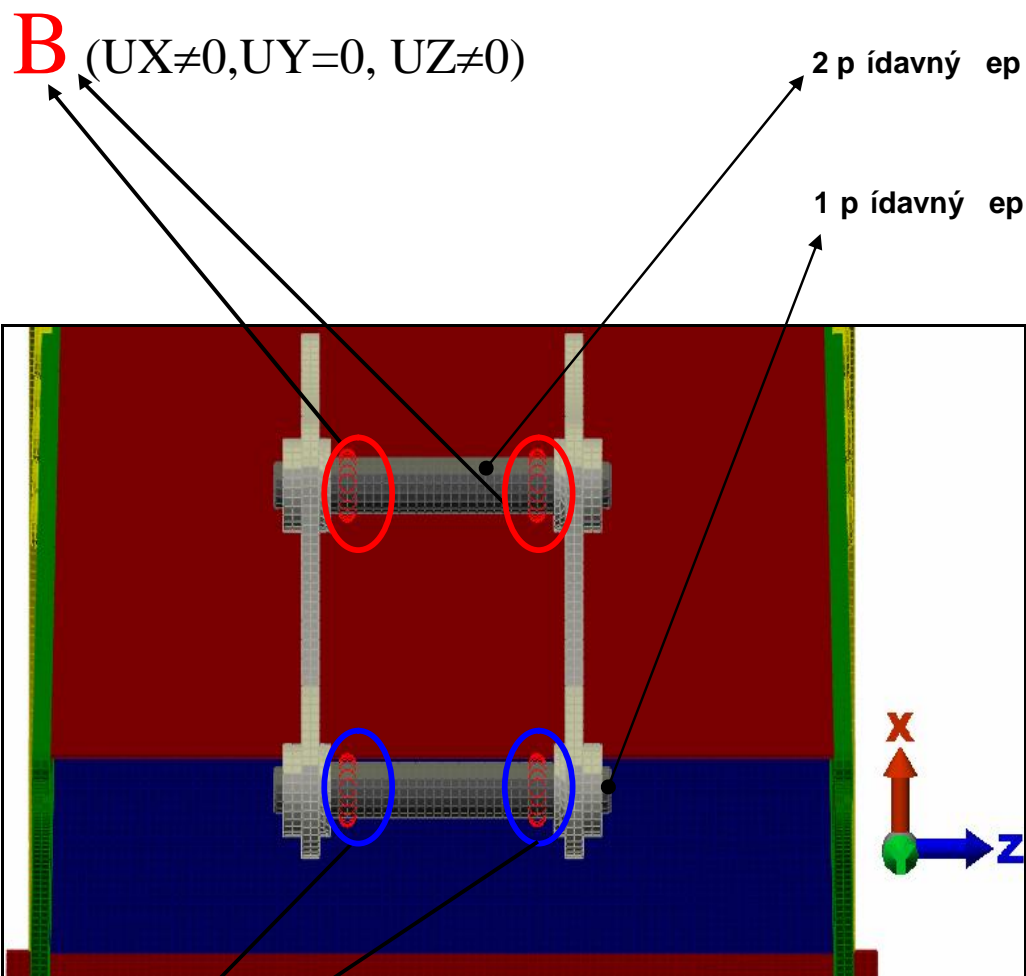
- Na 1 p ídavném epu tedy v místech **A** ve směrech X a Y souadného systému X,Y,Z, byly p edepsány nulové posuvy ( $U_X=0$ ,  $U_Y=0$ ,  $U_Z \neq 0$ )
- Na 2 p ídavném epu tedy v místech **B** ve směru Y souadného systému X,Y,Z, byly p edepsány nulové posuvy ( $U_X \neq 0$ ,  $U_Y=0$ ,  $U_Z \neq 0$ )



Obr.36 Zavedení vazeb výpo etnímu modelu (ez p ídavnými epy)



### Zavedení vazeb kone n prvkového modelu



obr.37 Zvolené zavedení okrajových geometrických podmínek (pohled ze shora)

**A** ( $UX=0, UY=0, UZ \neq 0$ )

Kde:

$UX$ .....je posunutí uzlu kone ného prvku ve sm ru X

$UY$ .....je posunutí uzlu kone ného prvku ve sm ru Y

$UZ$ .....je posunutí uzlu kone ného prvku ve sm ru Z

Pozn.: Vazby A, B byly zadány po celém obvodu stanovených uzl kone ných prv ( červené ozna ení) tvo ící p ídavné epy (1, 2) v ur ených resp. vymezených oblastech podle obr.36.

## 8 VÝSLEDKY PEVNOSTNÍHO VÝPOČTU

### 8.1 Testovací výpočty

Na základě každého pevnostního výpočtu jednotlivých modelů lze se provedla série testovacích výpočtů. Testovací výpočty napomohly k odhalení, nejen chyb v geometrii modelu, ale i v okrajových podmínkách. Tyto nepřesnosti mnohdy vedly až k divergenci výpočtu, a proto byla nutná jejich úprava.

Změnou nastavení některých parametrů pomocí hodnot získaných z testovacích výpočtů byla snížena časová náročnost celého pevnostního výpočtu. V závislosti na možnosti menší přesnosti výsledků se konkrétně jednalo o volbu velikosti prvků pro tvorbu sítí.

Vybrané výpočtové řešení modelu podkopové lžice typu „L“ se realizovalo na základě tzv. citlivostní analýzy.

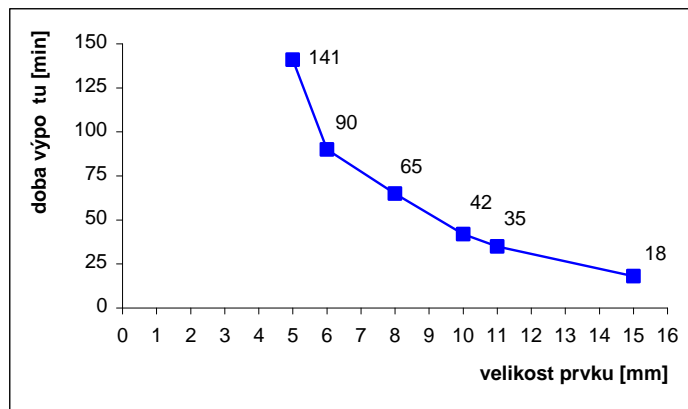
#### 8.1.2 Citlivostní analýza

Cílem citlivostních analýz je porovnat vliv změn určitých vstupních parametrů na hodnoty parametrů výstupních a určit tak optimální nastavení výpočtu. V našem případě bude měněna velikost prvku konečnou prvkovou sítí. Bude sledována doba výpočtu navrhnuté sítě prvků jak se projeví do výsledné hodnoty redukovaného napětí  $\sigma_{red}$  podle hypotézy HMM. V důsledku časové náročnosti se to provedlo jen pro první a druhý zatěžující stav podle kap. 7.5.1.

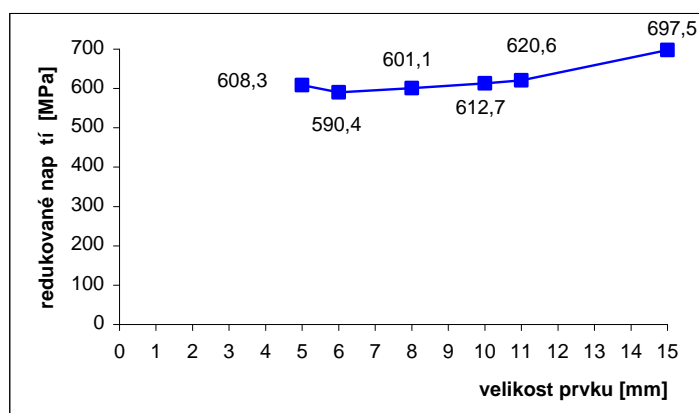
Testovací výpočty citlivostní analýzy pro model nejvyšší stávající lžice třídy 11 a jejího inovativního řešení jsou znázorněny v grafech 1 – 6.



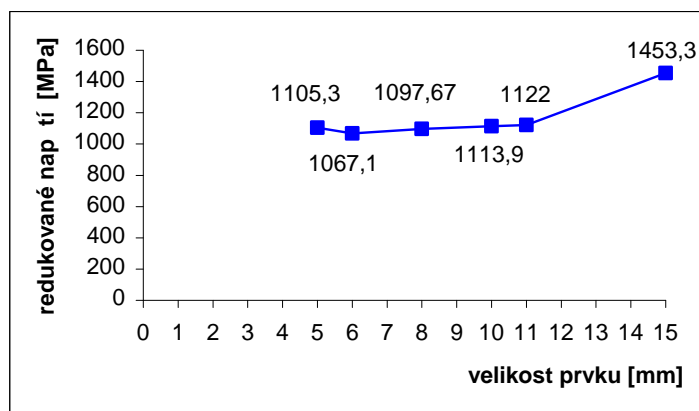
1) Citlivostní analýza pro r znou velikost prvku stávajícího ešení lžice typu „L“



Graf 1 Závislost doby výpo tu na velikosti prvku pro model stávajícího ešení lžice typu „L“

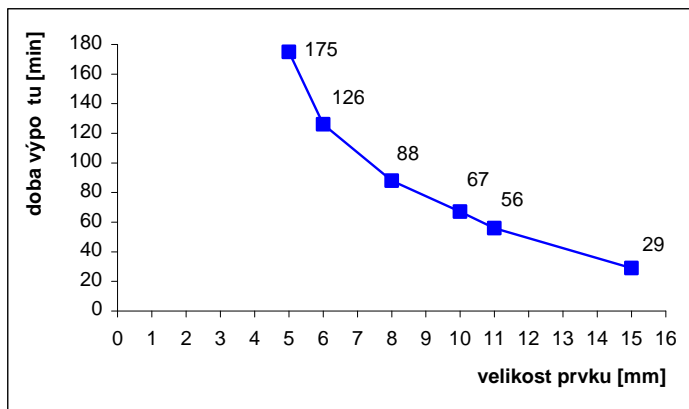


Graf 2 Závislost výsledného redukovaného nap tí 1 zat žujícího stavu na velikosti prvku pro model stávající lžice typu „L“

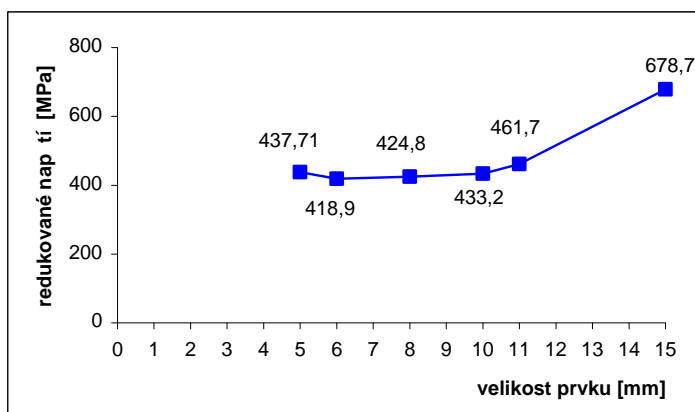


Graf 3 Závislost výsledného redukovaného nap tí 2 zat žujícího stavu na velikosti prvku pro model stávající lžice typu „L“

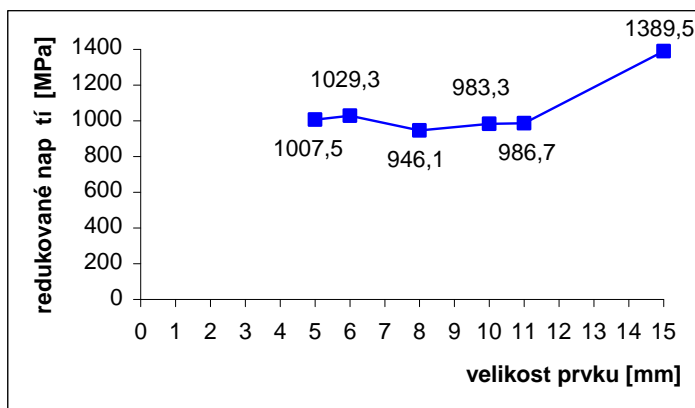
2) Citlivostní analýza pro r znou velikost prvku inova ního ešení lžice typu „L“



Graf 4 Závislost doby výpočtu na velikosti prvku pro model inova ního ešení lžice typu „L“



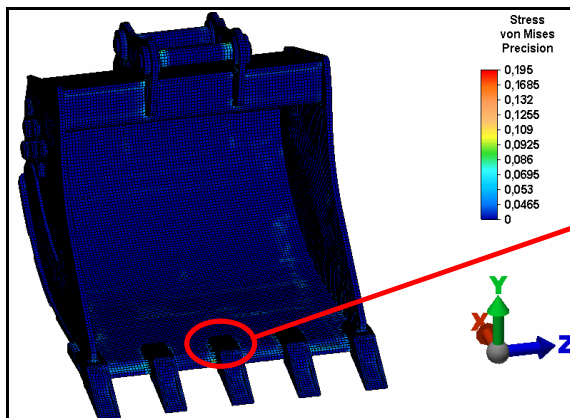
Graf 5 Závislost výsledného redukovaného napětí I zatlačujícího stavu na velikosti prvku pro model inova ního ešení lžice typu „L“



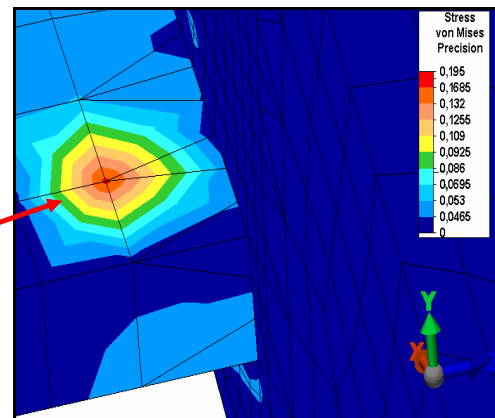
Graf 6 Závislost výsledného redukovaného napětí I zatlačujícího stavu na velikosti prvku pro model inova ního ešení lžice typu „L“

Podle graf 1 a 4 je patrné, že velikost prvku výsledné konečné prvkové sítě velmi ovlivňuje dobu výpočtu. Zároveň se dá konstatovat, že se tím výrazně ovlivňuje přesnost výsledného řešení. Při velikosti prvku 15 mm, byla výpočtová doba cca 18 minut, tedy velmi přijatelná. Pro výsledné řešení, ale nepoužitelná, protože hodnoty citlivostních analýz testovacích výpočtů byly vzdálené hodnotám testovacích výpočtů při jiných velikostech prvku. Ostatní velikosti prvku dle graf 2,3,5,6 znázorňující závislost na výsledném redukovaném napětí se lišily jen v desítkách MPa. Proto s ohledem na časovou náročnost pevnostního výpočtu pro 7 zatěžujících stavů byl vybrán pro výslednou síť prvek s velikostí 11 mm.

Mohli bychom předpokládat, že při zvolené velikosti prvku se stává řešení dostatečné míry nepřesné. Proto bylo důležité stanovit důvěryhodnost řešení výpočetního modelu. K porovnání důvěryhodnosti řešení výpočetního modelu stanovuje systém Algor „faktor důvěry“ [11] k redukovanému napětí podle hypotézy HMM. Faktor důvěry je zobrazen na modelu v rozmezí od 0 do 0,5. Důvěra přesnosti výpočtu modelu by se měla pohybovat od 0 do 0,15.



obr.38 Přesnost řešení navržené sítě výpočetního modelu lze



obr.39 Oblast uzlu prvek, kde by měla být navržena jemnější síť

Důvěra přesnosti řešení celého výpočetního modelu je v toleranci. Musí se jen zohlednit některé vzniklé oblasti (obr. 39) přesahující toleranci, pro které by se měla zavést jemnější síť.

Pozn.: Podle [11] se odhad hodnoty přesnosti, kterou zobrazuje Algor rovná jedné polovině rozdílu maximální a minimální hodnoty redukovaného napětí podle hypotézy HMM v daném uzlu dělené maximální hodnotou redukovaného napětí podle hypotézy HMM na celém modelu.

## 8.2 Zobrazení výsledk pevnostních analýz

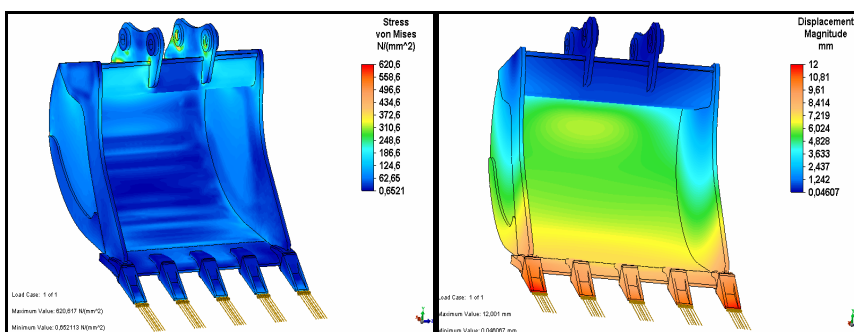
P edm etem našeho zájmu je po dohod se zadavatelem [1] p edevším redukované nap tí  $\sigma_{red}$  podle hypotézy HMM a celková sou tová deformace v korpusu celé lžice. Hodnoty nap tí v p ídavných epech se do výpo tu nezapo ítávaly. P ídavné epy posloužily jen k zadání okrajových podmínek nebo-li pro prezentování výsledk byly vypnuty.

Uvád t v diplomové práci všechny dosažené výsledky pro r zné zat žující stavy by bylo velice nep ehledné a neefektivní, proto byly vybrány jen výsledky prezentující jednotlivé zat žující stavy. Ve výsledném zobrazení pevnostních analýz jsou porovnány zat žující stavy nejv tší stávající lží ce t ídy 11 a jejího inova ního ešení. Všechny dosažené výsledky v etn rozbor slabých míst se zobrazením deformace lžice v jednotlivých zat žujících stavech a další ešení lžice jsou v p íloze na p ídaném CD.

Výsledné hodnoty redukovaného nap tí  $\sigma_{red}$  [MPa] a celkové sou tové deformace [mm] pro jednotlivé zat žující stavy jsou v tab. 11 . Do výsledných analýz bylo p ídáno ještě porovnání vybraných 5 zat žujících stav (obr. 8.1 – 8.30) p ípr b hu nap tí a deformace v jednotlivých sm rech X,Y,Z sou adného systému.

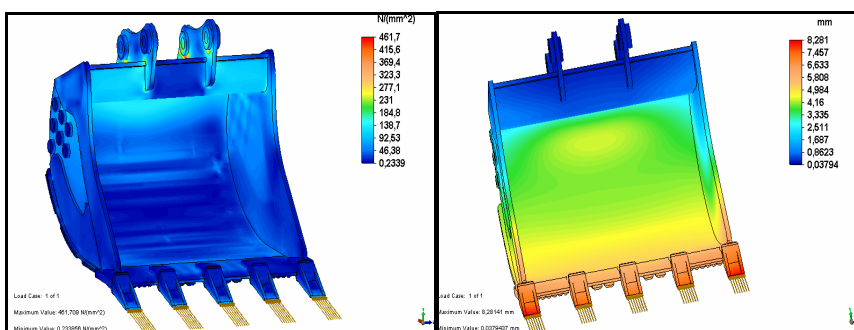
Tab. 11 Výsledné hodnoty stávajícího a inova ního ešení lžice t ídy 11

Zat žující stav	Stávající ešení lžice				Inova ní ešení lžice			
	Redukované nap tí RED [MPa]		Sou tová deformace [mm]		Redukované nap tí RED [MPa]		Sou tová deformace [mm]	
1	620,6	obr.8.2.1.1.1	12	obr.8.2.1.1.2	461,7	obr.8.2.2.1.1	8,3	obr.8.2.2.1.2
2	1122	obr.8.2.1.2.1	64,05	obr.8.2.1.2.2	986,7	obr.8.2.2.2.1	39,1	obr.8.2.2.2.2
3	648,2	obr.8.2.1.3.1	17,07	obr.8.2.1.3.2	279,3	obr.8.2.2.3.1	5,01	obr.8.2.2.3.2
4	336,3	obr.8.2.1.4.1	10,76	obr.8.2.1.4.2	592	obr.8.2.2.4.1	23,4	obr.8.2.2.4.2
5	392,1	obr.8.2.1.5.1	16,32	obr.8.2.1.5.2	321,5	obr.8.2.2.5.1	10,3	obr.8.2.2.5.2
6	429,3	obr.8.2.1.6.1	8,3	obr.8.2.1.6.2	205,1	obr.8.2.2.6.1	6,4	obr.8.2.2.6.2
7	673,2	obr.8.2.1.7.1	38,4	obr.8.2.1.7.2	310,9	obr.8.2.2.7.1	9,7	obr.8.2.2.7.2



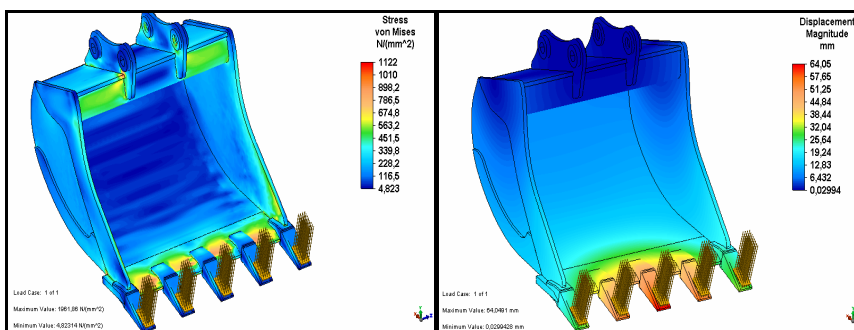
obr.8.2.1.1.1

obr.8.2.1.1.2



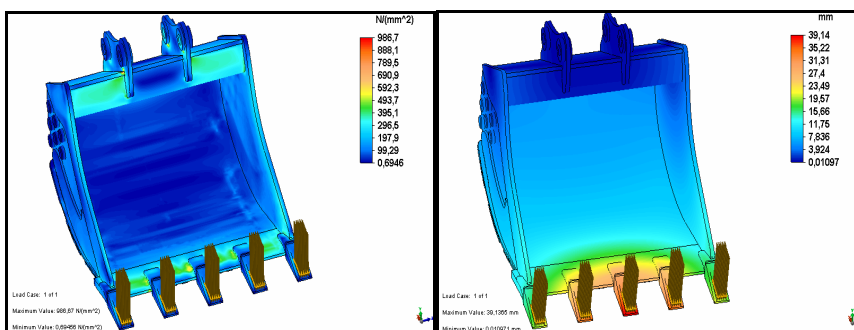
obr.8.2.2.1.1

obr.8.2.2.1.2



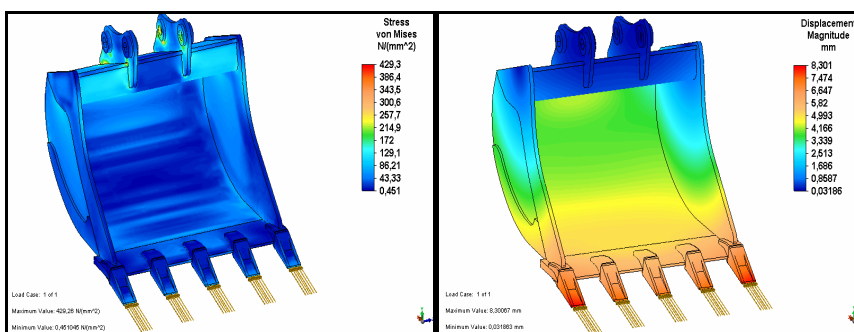
obr.8.2.1.2.1

obr.8.2.1.2.2



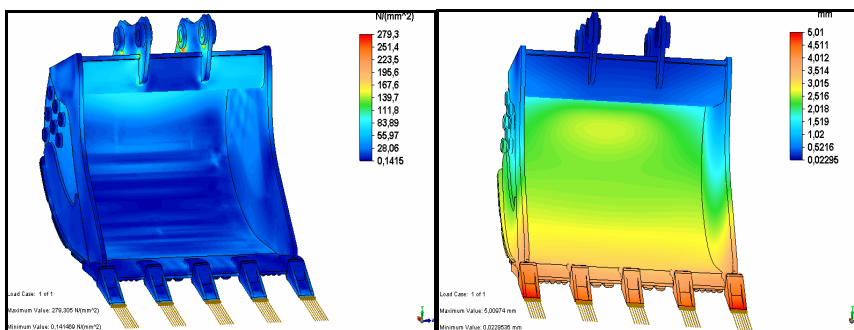
obr.8.2.2.2.1

obr.8.2.2.2.2



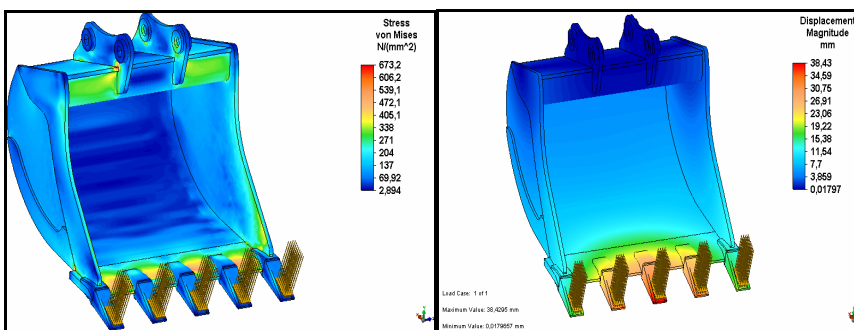
obr.8.2.1.3.1

obr.8.2.1.3.2



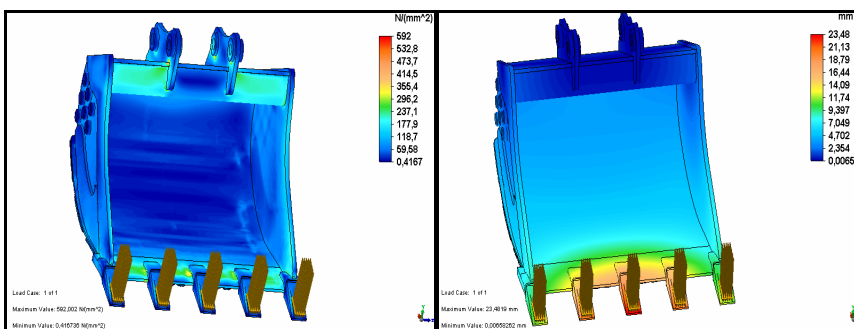
obr.8.2.2.3.1

obr.8.2.2.3.2



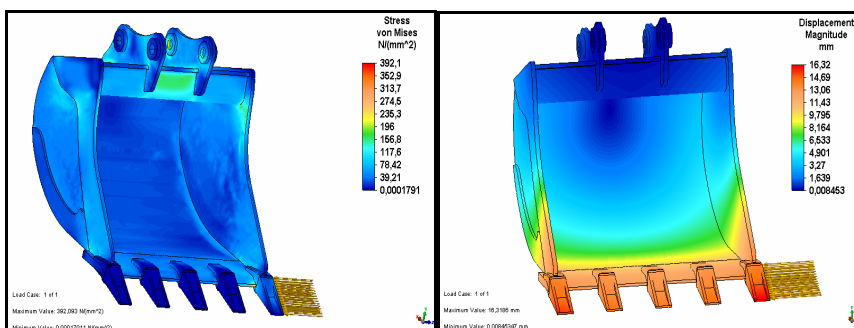
obr.8.2.1.4.1

obr.8.2.1.4.2



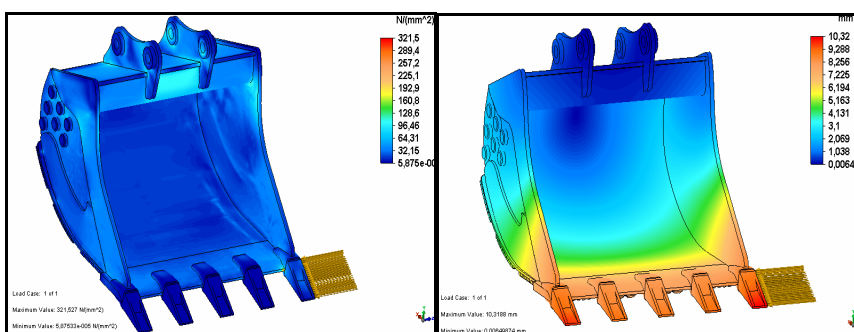
obr.8.2.2.4.1

obr.8.2.2.4.2



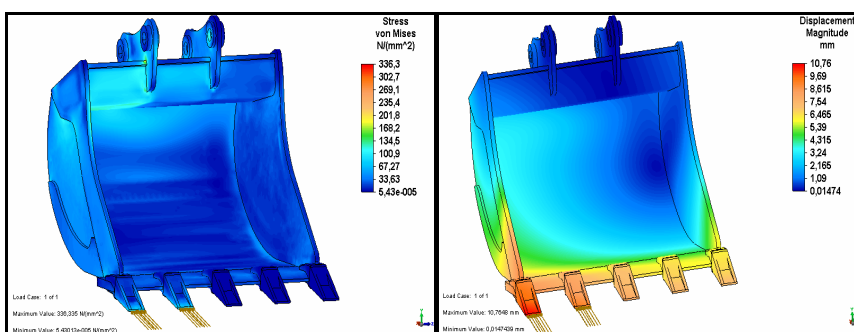
obr.8.2.1.5.1

obr.8.2.1.5.2



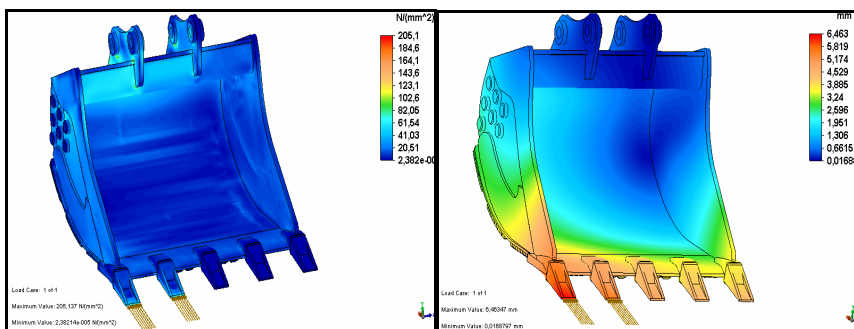
obr.8.2.2.5.1

obr.8.2.2.5.2



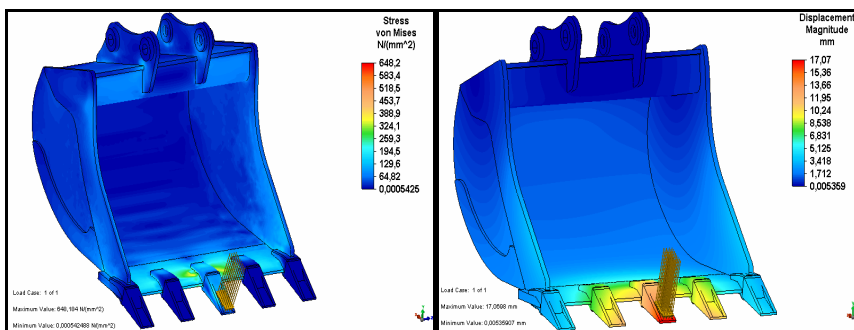
obr.8.2.1.6.1

obr.8.2.1.6.2



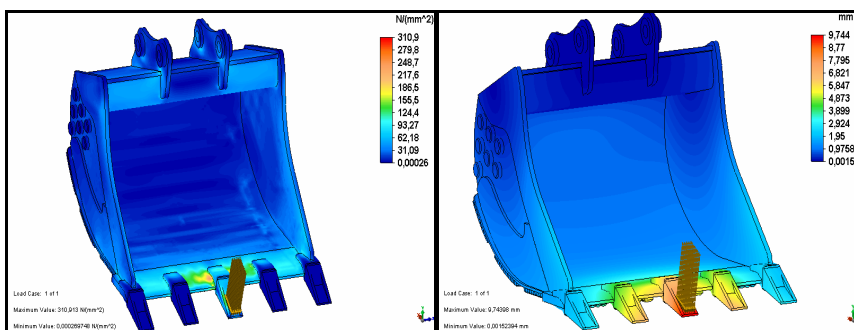
obr.8.2.2.6.1

obr.8.2.2.6.2



obr.8.2.1.7.1

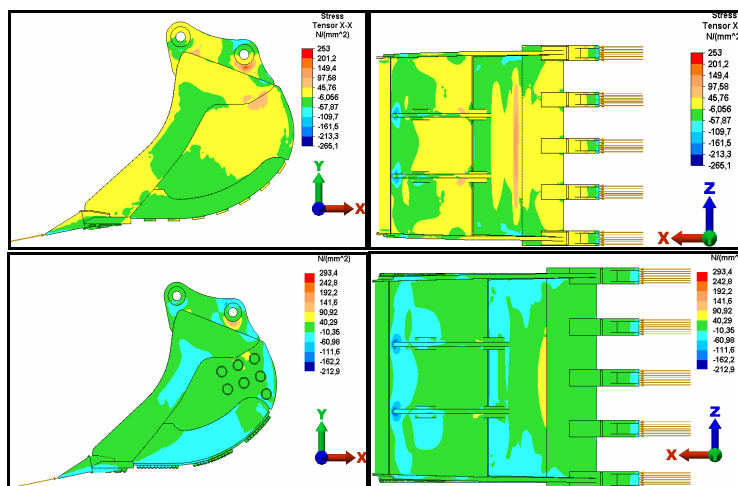
obr.8.2.1.7.2



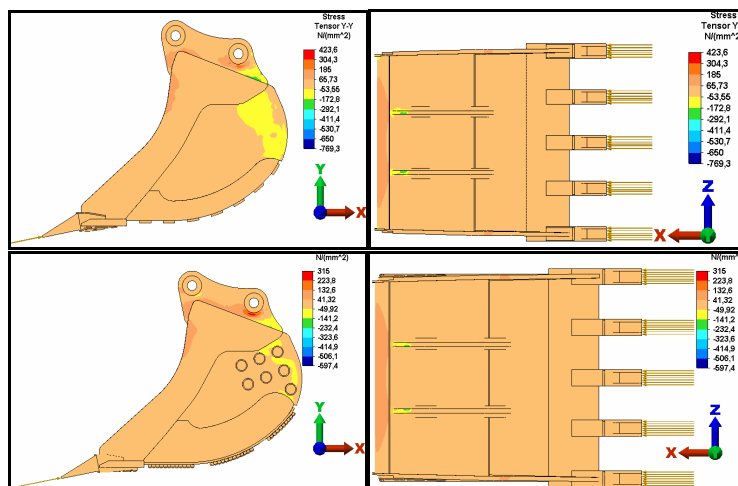
obr.8.2.2.7.1

obr.8.2.2.7.2

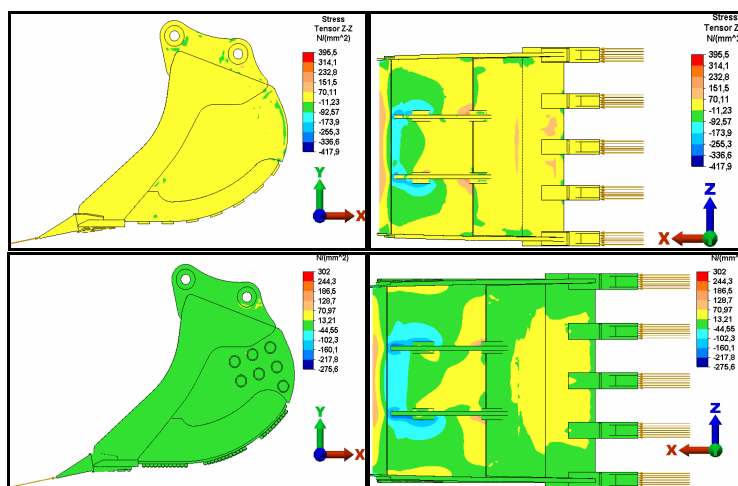




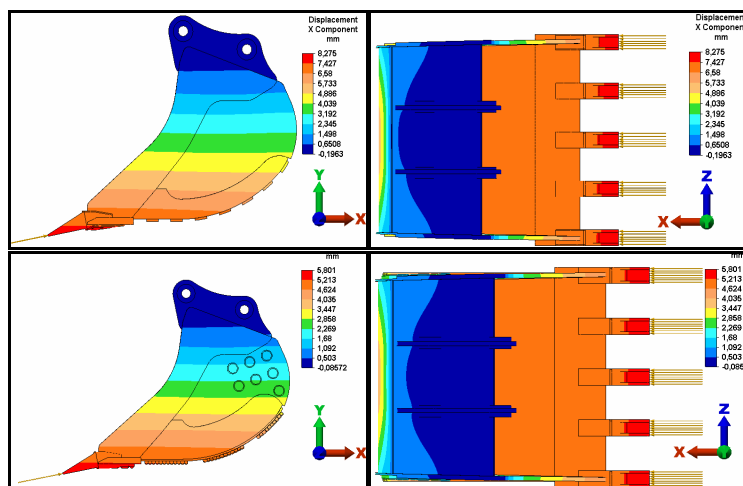
obr.8.1 Nap tí ve sm ru osy X  
(1 zat žující stav – porovnání stávajícího a inova ního ešení)



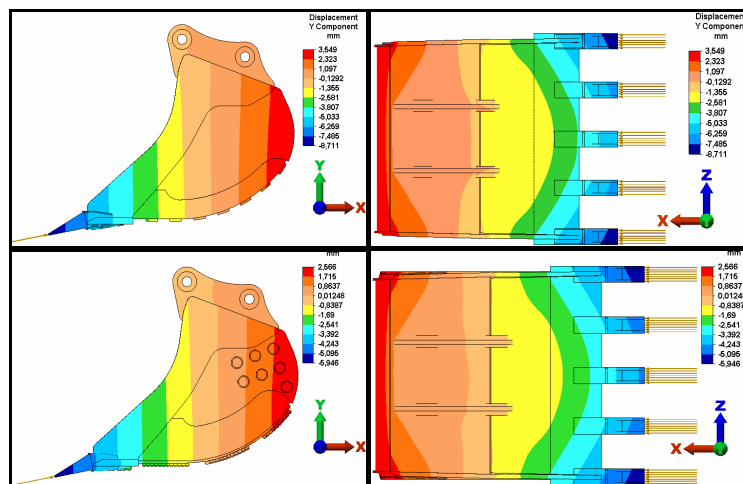
obr.8.2 Nap tí ve sm ru osy Y  
(1 zat žující stav – porovnání stávajícího a inova ního ešení)



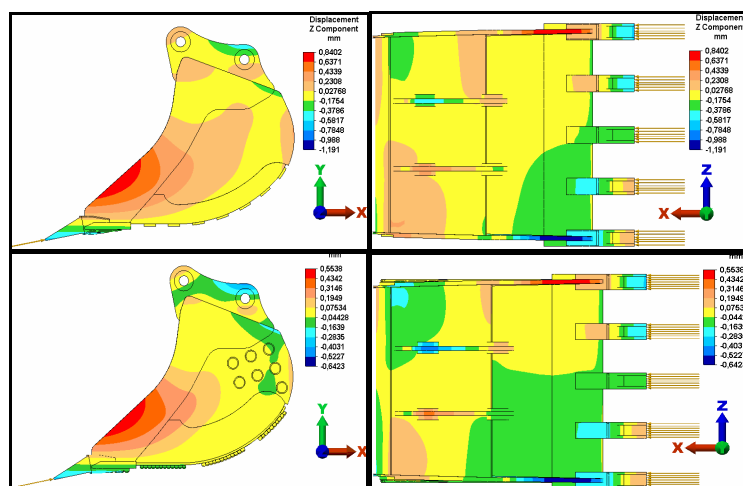
obr.8.3 Nap tí ve sm ru osy Z  
(1 zat žující stav – porovnání stávajícího a inova ního ešení)



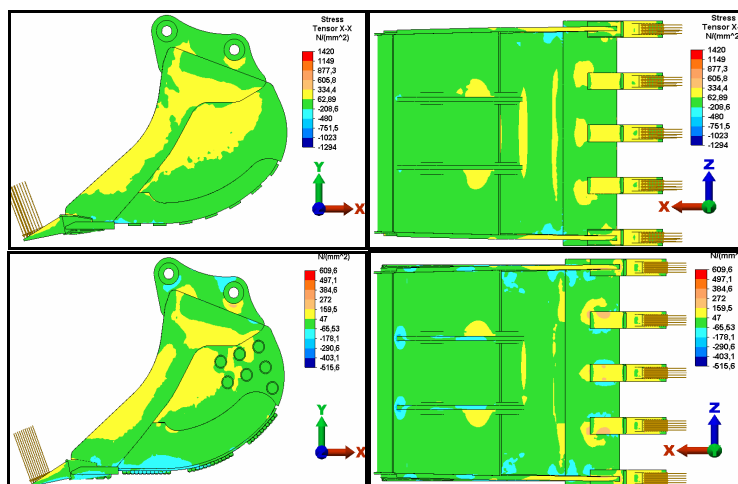
obr.8.4 Deformace ve směru osy X  
(1 zatěžující stav – porovnání stávajícího a nového řešení)



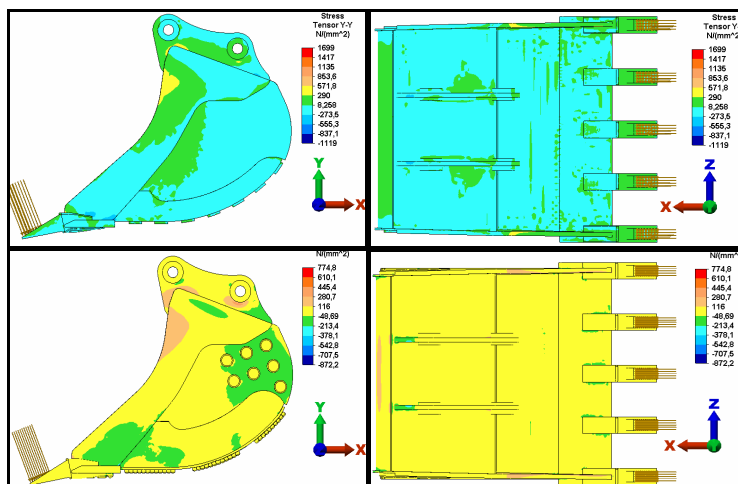
obr.8.5 Deformace ve směru osy Y  
(1 zatěžující stav – porovnání stávajícího a nového řešení)



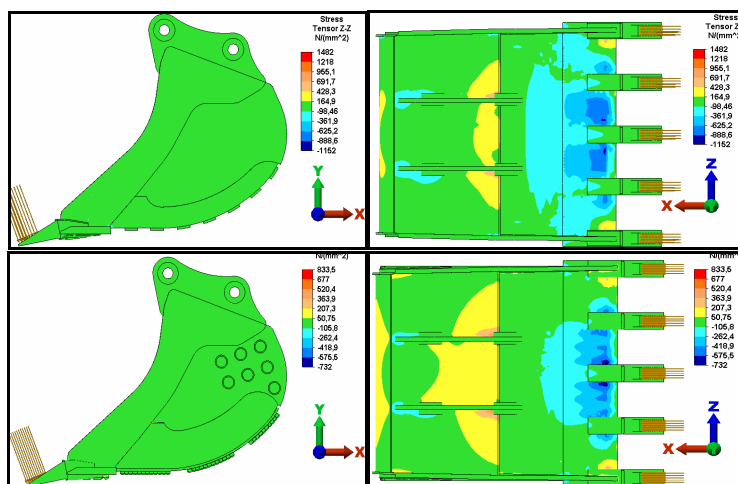
obr.8.6 Deformace ve směru osy Z  
(1 zatěžující stav – porovnání stávajícího a nového řešení)



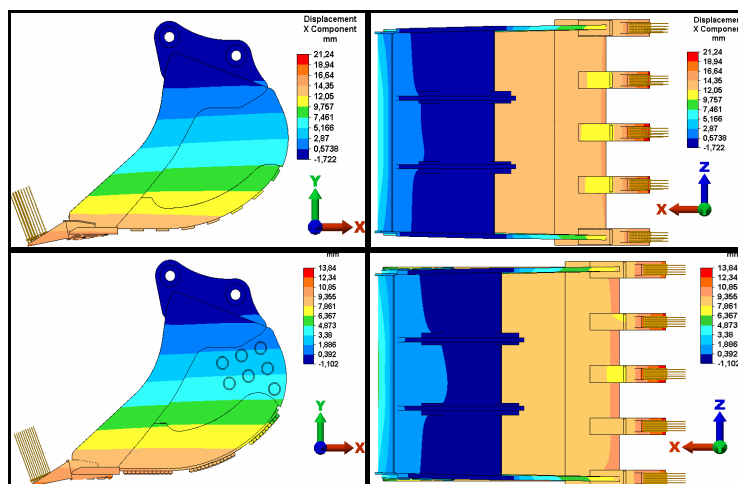
obr.8.7 Nap tí ve sm ru osy X  
(2 zat žující stav – porovnání stávajícího a inova ního ešení)



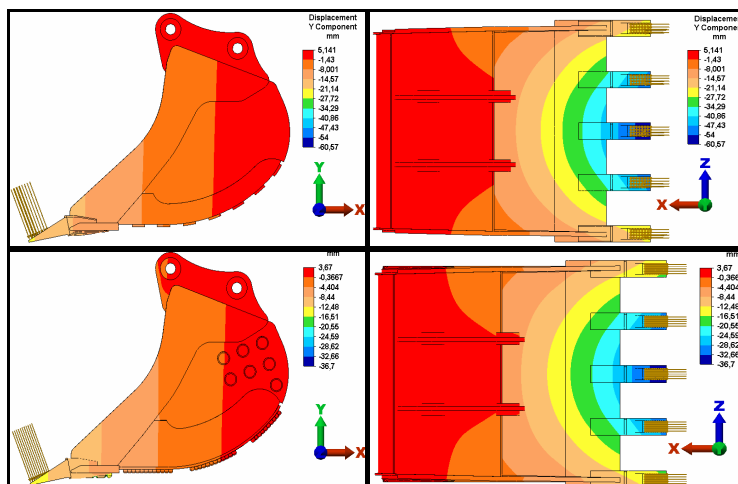
obr.8.8 Nap tí ve sm ru osy Y  
(2 zat žující stav – porovnání stávajícího a inova ního ešení)



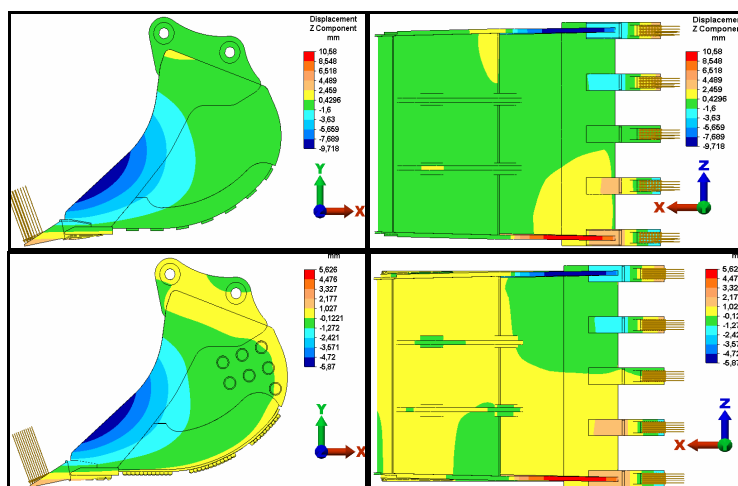
obr.8.9 Nap tí ve sm ru osy Z  
(2 zat žující stav – porovnání stávajícího a inova ního ešení)



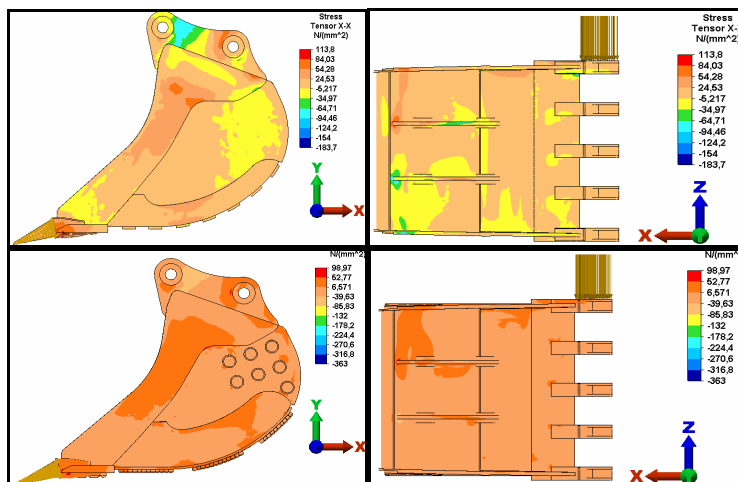
obr.8.10 Deformace ve směru osy X  
(2 zatěžující stav – porovnání stávajícího a nového řešení)



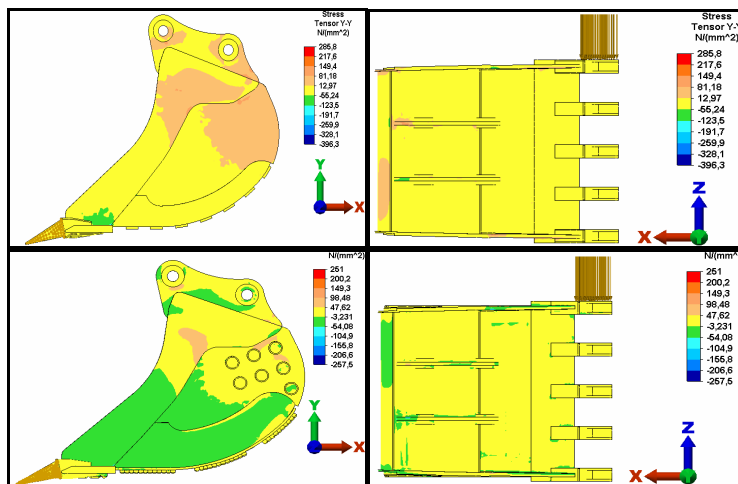
obr.8.11 Deformace ve směru osy Y  
(2 zatěžující stav – porovnání stávajícího a nového řešení)



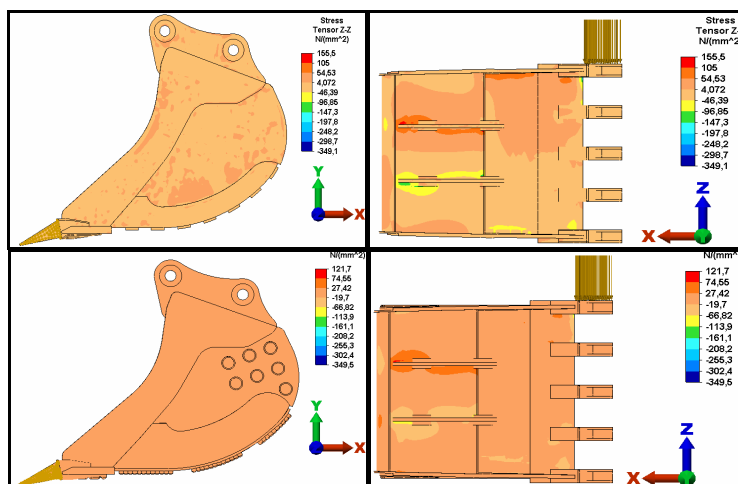
obr.8.12 Deformace ve směru osy Z  
(2 zatěžující stav – porovnání stávajícího a nového řešení)



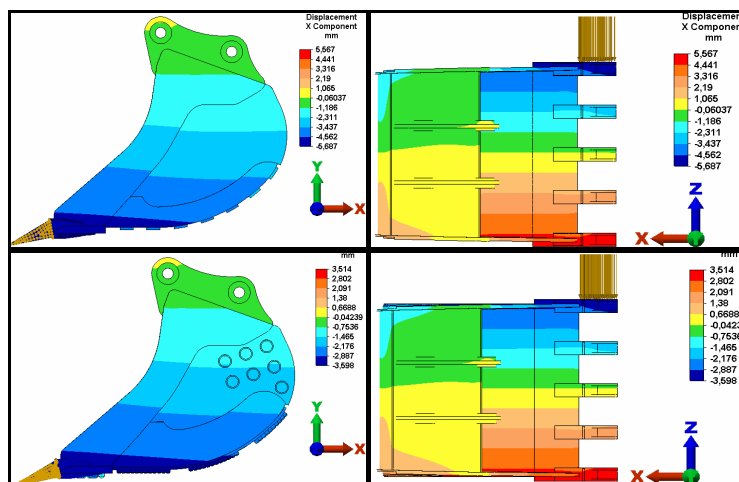
obr.8.13 Nap tí ve sm ru osy X  
(5 zat žující stav – porovnání stávajícího a inova ního ešení)



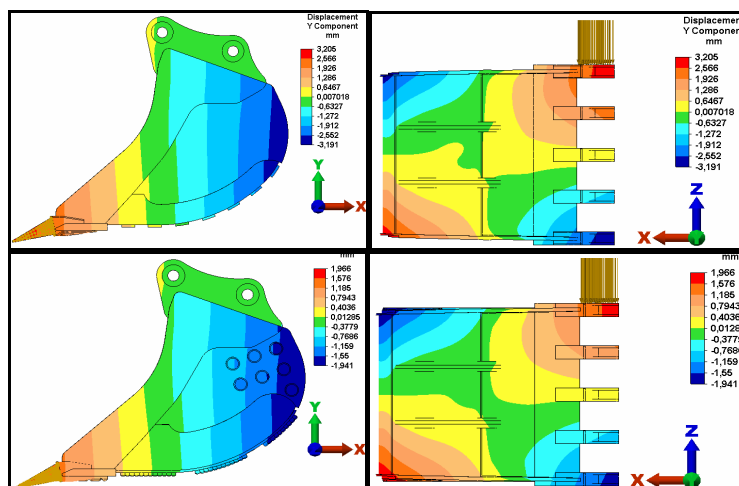
obr.8.14 Nap tí ve sm ru osy Y  
(5 zat žující stav – porovnání stávajícího a inova ního ešení)



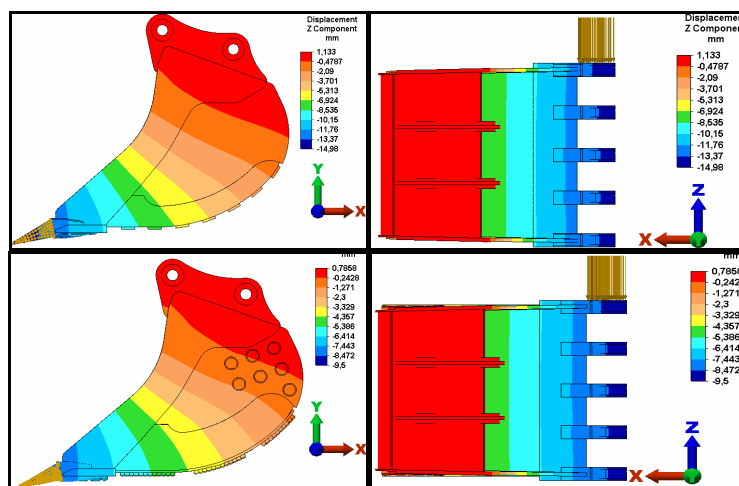
obr.8.15 Nap tí ve sm ru osy Z  
(5 zat žující stav – porovnání stávajícího a inova ního ešení)



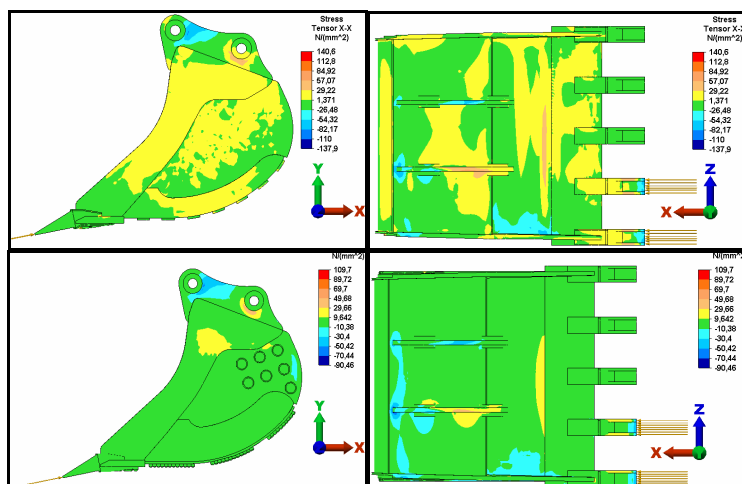
obr.8.16 Deformace ve směru osy X  
(5 zatěžující stav – porovnání stávajícího a inovačního řešení)



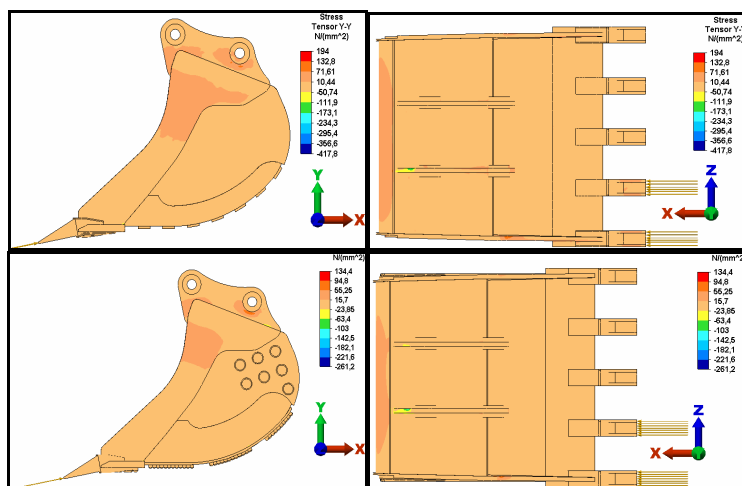
obr.8.17 Deformace ve směru osy Y  
(5 zatěžující stav – porovnání stávajícího a inovačního řešení)



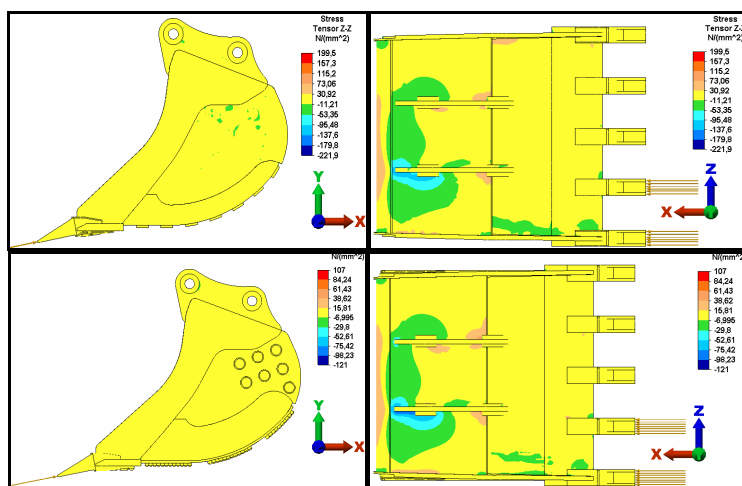
obr.8.18 Deformace ve směru osy Z  
(5 zatěžující stav – porovnání stávajícího a inovačního řešení)



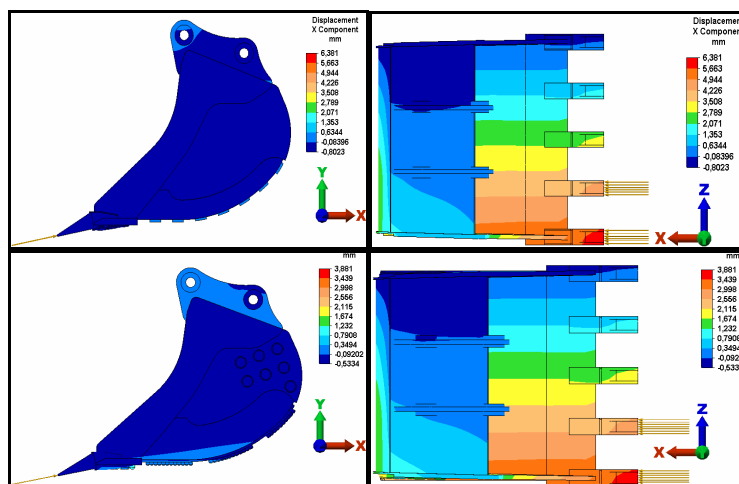
obr.8.19 Nap tí ve sm ru osy X  
(6 zat žující stav – porovnání stávajícího a inova ního ešení)



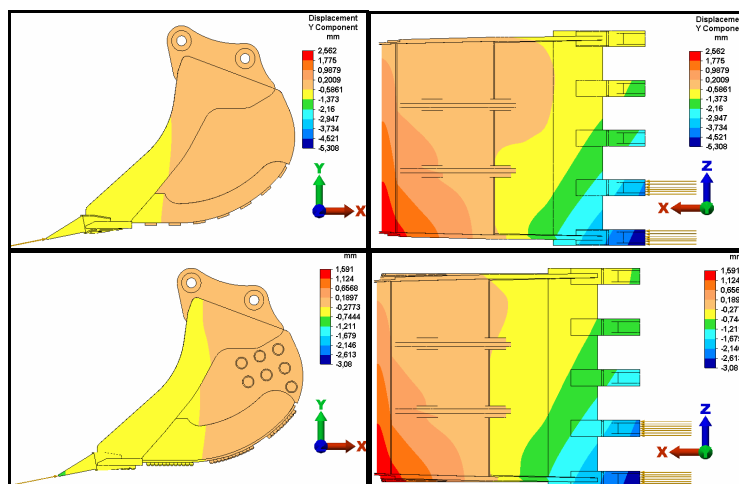
obr.8.20 Nap tí ve sm ru osy Y  
(6 zat žující stav – porovnání stávajícího a inova ního ešení)



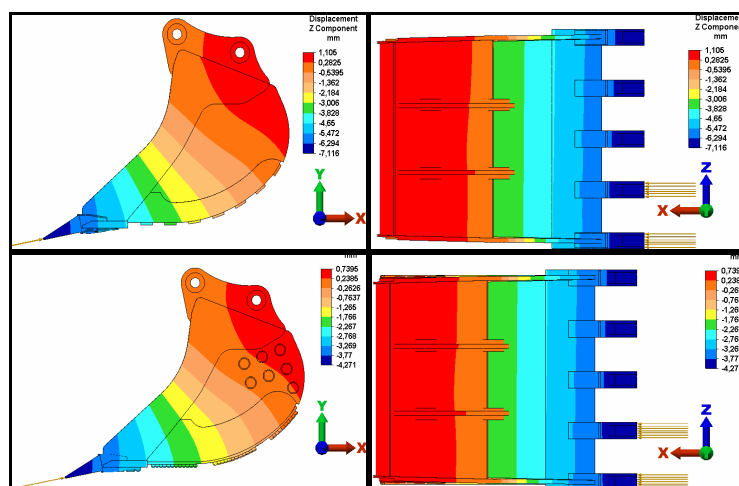
obr.8.21 Nap tí ve sm ru osy Z  
(6 zat žující stav – porovnání stávajícího a inova ního ešení)



obr.8.22 Deformace ve směru osy X  
(6 zat žující stav – porovnání stávajícího a inova ního ešení)

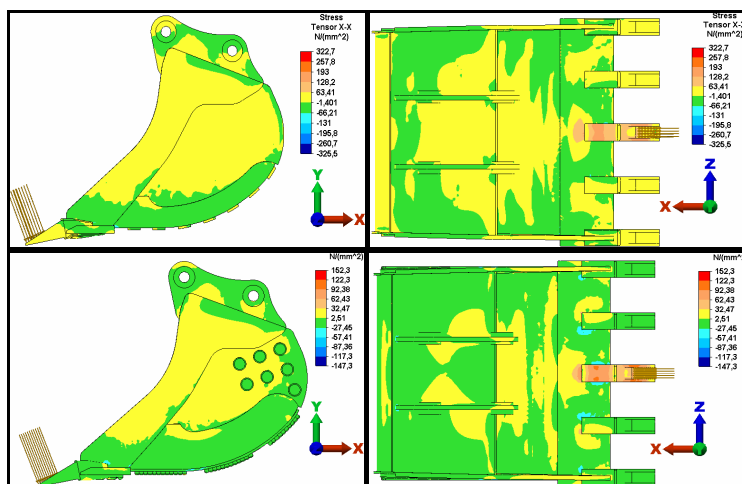


obr.8.23 Deformace ve směru osy Y  
(6 zat žující stav – porovnání stávajícího a inova ního ešení)

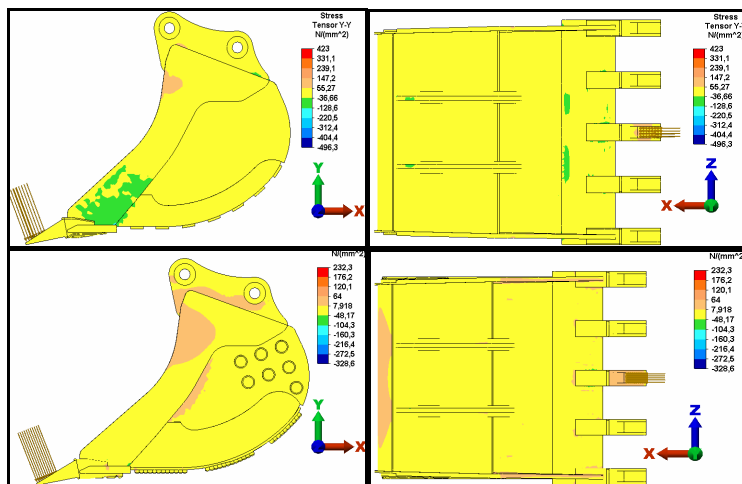


obr.8.24 Deformace ve směru osy Z  
(6 zat žující stav – porovnání stávajícího a inova ního ešení)

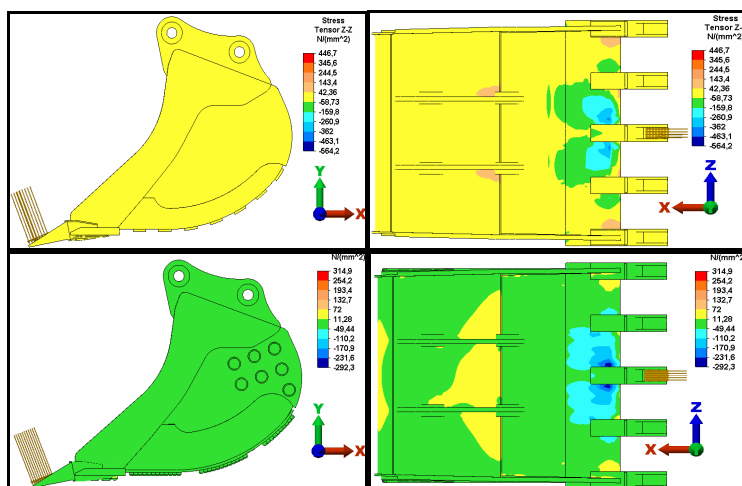




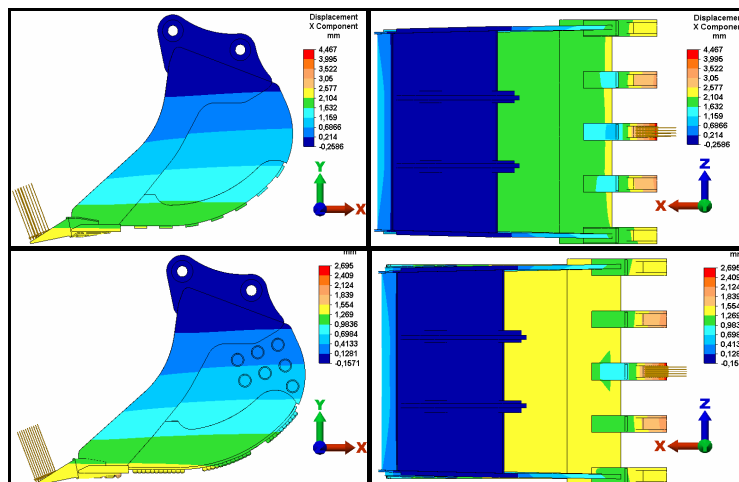
obr.8.25 Nap tí ve sm ru osy Y  
(7 zat žující stav – porovnání stávajícího a inova ního ešení)



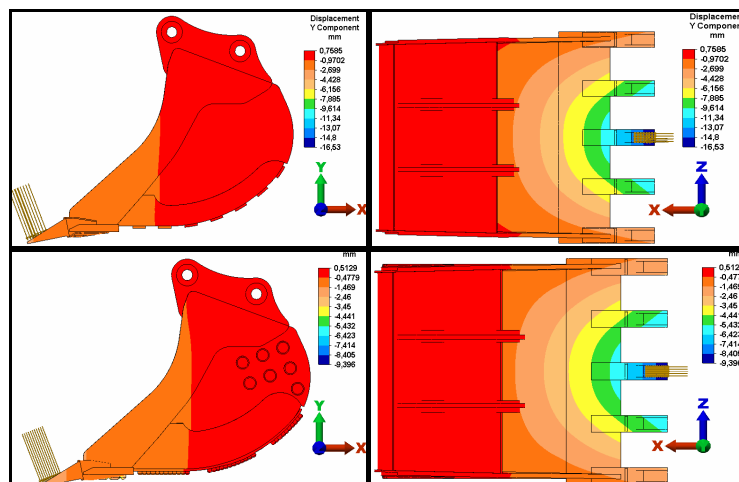
obr.8.26 Nap tí ve sm ru osy Y  
(7 zat žující stav – porovnání stávajícího a inova ního ešení)



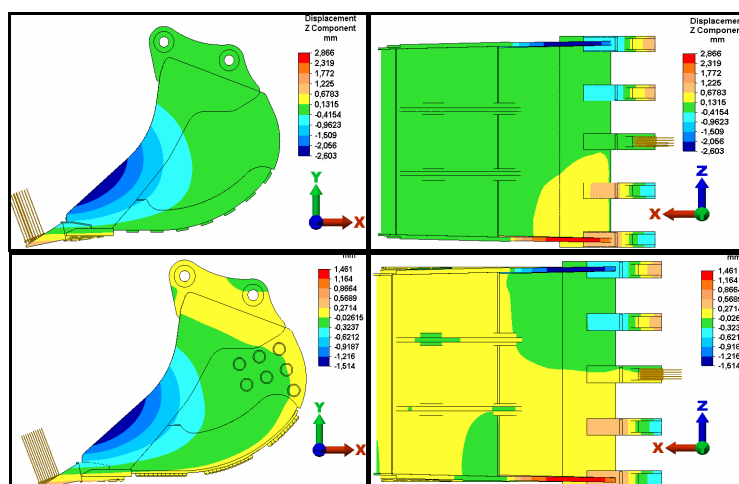
obr.8.27 Nap tí ve sm ru osy Z  
(7 zat žující stav – porovnání stávajícího a inova ního ešení)



obr.8.28 Deformace ve směru osy X  
(7 zatěžující stav – porovnání stávajícího a nového řešení)



obr.8.29 Deformace ve směru osy Y  
(7 zatěžující stav – porovnání stávajícího a nového řešení)



obr.8.30 Deformace ve směru osy Z  
(7 zatěžující stav – porovnání stávajícího a nového řešení)

### Vyhodnocení výsledků pevnostních analýz

Z výsledků je patrné, že největší napětí v modelu lžice vzniká v bity a zubech od zatížení stavu 2, tedy při maximální vylamovací síle resp. vylamovacím tlaku působícím na všechny zuby. Sledováním působícího napětí ve směrech X,Y,Z celého korpusu lžice zjistíme, že velké napětí vzniká v horním plechu v oblastech spojení s upínáním. Nezanedbatelné napětí vzniká také v některých oblastech boku lžice.

Porovnáním stávajícího a inovativního řešení podkopové lžice typu „L“ třídy 11 (obr.8.1 – 8.30) v jednotlivých směrech X,Y,Z souadného systému byly viditelné rozdíly v napětí a deformaci. Podle obr. 8.11, který pro 2. zatížení stav znázorňuje maximální deformaci stávajícího řešení lžice ve směru osy Y 60 mm. Inovativní řešení snižuje maximální deformaci ve směru osy Y na 36 mm.

Inovativní řešení lžice zvyšuje celkovou bezpečnost  $k$ , která je u stávajícího řešení na hranici přípustnosti (Pozn. největší napětí je v bity, který má mez kluzu  $R_e = 1200 \text{ MPa}$ ). Tedy se dá konstatovat, že inovativní řešení, by pro pracovní proces v těchto podmínkách bylo optimálnější než stávající řešení podkopové lžice typu „L“ třídy 11.

Dosažené výsledky pevnostního výpočtu podkopových lžic typu „L“ mohly být ovlivněny tvorbou modelu a navrženou hustotou konečných prvkové sítě systému AlgorV19.3SP2, která nemusela být naprosto korektní.

Velký vliv na výsledném řešení měly stanovené zatížení stavy a zvolené okrajové podmínky, které nepřímo nahrazovaly skutečné uložení lžice k rychloupínání. Dalo by se jen uvažovat, že vliv okrajových podmínek klesá vzdáleností od místa zavedení okrajových podmínek. Rozpojovací hloubící síly ze kterých byly stanoveny zatížení stavy, mohou ve skutečnosti působit zcela jinak, než bylo uvažováno. Skutečné napětí vznikající v podkopové lžici by tedy mohlo mít úplně jiný průběh, než dosažené výsledky. Tato fakta by se pro celkové vyhodnocení měla brát v úvahu.

## 9 ZÁV R

Diplomová práce se zabývala rozbořením konstrukce a pevnostním výpočtem podkopových lžic typu „L“ pro zemní stroje, které vyrábí zadavatel diplomové práce firma Triga–MF spol. s r. o.. Pro pevnostní výpočet byly vytvořeny výpočtové modely a dy jednotlivých částí lžic stanovené zadavatelem. Pro tyto modely se zvolily odpovídající okrajové podmínky a zatěžující stavy, které mohou nastat během pracovního procesu.

V úvodu diplomové práce byla charakterizována problematika zemních prací podkopovými lžicemi, kde se v praxi vyskytl y faktory ovlivňující návrh konstrukčního řešení i pevnostní výpočet podkopových lžic.

V další části se provedl obecný rozbor konstrukce podkopových lžic se zaměřením na podkopové lžice typu „L“. Charakterizovaly se hlavní rozdíly lžice typu „L“ s porovnáním jiných typů podkopových lžic. Pro nejvážnější podkopové lžice typu „L“, které vyrábí zadavatel pro těžké zemní stroje se navrhla inovativní úprava, pro pracovní proces v těžších podmínkách.

V druhé polovině diplomové práce byl řešen pevnostní výpočet celé podkopové lžice typu „L“ v porovnání s inovativním řešením. Jsou zde popsány volby zatížení, kterými se řídí výrobci zemních strojů a stanoveny uvažované směry působení hloubících sil při rozpojování zeminy.

Modely geometrie podkopových lžic typu „L“ byly vymodelovány v systému Pro/EngineerWildfire3.0. Výpočtové modely byly vytvořeny v systému AlgorV19.3SP2, ve kterém byly pomocí metody konečných prvků realizovány samotné výpočty. Díky testovacím výpočtům byl prokázán vliv velikosti prvku na přesnost řešení, ale také na časovou náročnost celého výpočtu. Podle toho byl volen optimální postup řešení. Divize přesnost řešení odhalila některé nedostatky modelu a upozornila především na oblasti, kde by měla být navržena jemnější konečná prvková síť. Výsledné řešení bylo ještě zkrusleno zavedením okrajových podmínek. Pro zprůvodnění výsledků analýz by se musel navrhnout takový výpočtový model, kterému by se zavedly kontaktní prvky v místech dotyku prídavných ep s rychloupínáním. Ty by zohledňovaly kontaktní napětí, které

v předávných případech pravděpodobně vzniká. Vzhledem k rozsahu řešení celé ady model podpových lžic typu „L“ a po tu zatěžujících stav, tedy především z důvodu časové náročnosti, bylo kontaktní napětí v předávných případech pro celkové řešení přílišnou komplikací. Proto kontaktní prvky nebyly použity.

Z pevnostního výpočtu metodou konečných prvků je patrné, že největší napětí v modelu lžice vzniká v bity a zubech. Výpočet ukázal nezanedbatelné napětí v horním plechu lžice v oblastech upínání a také v boku lžice.

Porovnáním stávajícího a inovačního řešení podkopy lžice typu „L“ se dá konstatovat, že inovační řešení by pro pracovní proces v těžších podmínkách bylo optimálnější. Míra bezpečnosti pro inovační řešení dosahuje min.  $k = 1,5$  a zároveň inovační řešení dle názoru konzultanta může zvýšit celkovou odoluvzdornost.

Vzhledem k již zmíněným nedostatkům výpočetního modelu se však dá konstatovat, že se výsledná napěťová analýza může blížit reálnému napětí ve skutečné lžici. Proto se pevnostní výpočet podpových lžic metodou konečných prvků může stát velmi cenným podkladem pro inovace stávajícího řešení podkopy lžice typu „L“.

## Seznam příloh

- [P1]** Výrobní výkres: KVM-DP-572-A3-003 – bok
- [P2]** Výrobní výkres: KVM-DP-572-A3-004 – boční výztuha
- [P3]** Výrobní výkres: KVM-DP-572-A3-005 – krajní výztuha
- [P4]** Celkový počet použitých konečných prvků pro model lžice třídy 11
- [P5]** Materiálové listy konstrukční oceli Hardox 400, 500
- [P6]** Vysokopevnostní a otřuvzdorné materiály (Vidablock application)

## Seznam použité literatury

- [1] Dokumentace firmy Triga – MF spol. s r. o.
- [2] SN ISO 10262 – Hydraulická lopatová rýpadla
- [3] SN ISO 7451 – Jmenovitý objem lopat hydraulického lopatového rýpadla a rýpadlo-nakladače
- [4] Vaněk, A.: Strojní technika a technologie zemních prací, Akademie věd České republiky, 1. vydání, Praha 2003
- [5] Jeábek, K.: Konstrukce a provoz hydraulických lopatových rypadel, VUT v Praze, 1. Vydání, Praha 1978
- [6] Vaněk, A.: Stavební stroje a mechanismy I, VUT v Praze, 1. Vydání, Praha 1990
- [7] Dražan, F.: Zemní stroje, VUT v Praze, 1. Vydání, Praha 1981
- [8] SAE, PCSA .3 – Hloubicí síly
- [9] Algor help
- [10] [http:// www.Algor.com](http://www.Algor.com)
- [11] <http://www.kts.vslib.cz/index.php?&page=studium/podklady>
- [12] Kolář, V.: FEM principy a praxe metody konečných prvků, Computer press, 1. vydání, Praha 1997

## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon  
. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých  
autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si v domně-  
nově povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode-  
mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich  
skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na  
základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci dne 23.5.2008.

## **Declaration**

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. Applies to my  
thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my  
copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must  
inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the  
expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and  
the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

In Liberec, date 23.5.2008.